INFORMÁTICA Y SISTEMAS

REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA
Y LAS TELECOMUNICACIONES

DOCUMENTO DE PRESERVACIÓN DIGITAL EN INTERNET ARCHIVE

Vol. 3 Núm. 1 (2019): Enero - Junio

1. **Modelación de una red BACKHAUL LTE utilizando software Open Source para mejorar el desempeño de red, ante el incremento de usuarios móviles.**
2. **Análisis de normas de accesibilidad web en el sitio web de la Facultad de Informática de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí**
3. **Ejecución automática de pruebas en entornos empresariales de producción de sotware**
4. **La geomática como herramienta para el autoaprendizaje en estudiantes de bachillerato**
5. **Evaluación de accesibilidad en la página web de la UTM con el complemento Web Developer**
6. **Wifi para comunicaciones de largo alcance con tecnología TDMA**

Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International
(CC BY-NC-ND 4.0)

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES

Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

Recibido: 12/01/2019
Aceptado: 27/01/2019

Modelación de una red backhaul LTE utilizando software open source para mejorar el desempeño de red, ante el incremento de usuarios móviles.

Santiago Javier Alvaro Pillalaza [1] Carlos Gualberto Badillo Salazar [2] Gladys Lorena Aguirre Sailema [3] Marco Vinicio Ramos Valencia [4]

[1]Instituto de Postgrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba, Ecuador
[2]TVCABLE, Quito, Ecuador,
[3]Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador,
[4]Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador,
santyhalvaro@hotmail.org, cbadillo@ieee.com, gaguirre@espoch.edu.ec, marco.ramos@espoch.edu.ec

RESUMEN
El presente trabajo surge de la necesidad de prever los cambios necesarios que requiere una porción de red backhaul LTE a medida que evolucionan la demanda del consumo de datos y se incrementan los usuarios conectados a la red. Con el incremento del flujo de datos en la red, en particular el tráfico streaming de video, los operadores de redes móviles requieren pruebas de carga y un análisis prospectivo para evaluar el desempeño de red.
Para mejorar el desempeño de red ante el incremento de usuarios móviles se plantea modelar una porción de red backhaul LTE de una zona rural, en OMNET++. El modelo de red se fundamenta en características técnicas de arquitectura funcional que a través de un servidor externo a la red backhaul LTE transfiera paquetes streaming de video con longitud de 1000 bytes a 31 equipos de usuario.
A partir del primer escenario se plantea tres escenarios de prueba con los mismos elementos de red de la estructura principal pero con diferente número de usuarios. Cada escenario de prueba es sometido a un número determinado de simulaciones. Los resultados de las simulaciones permitieron validar el comportamiento aproximado del desempeño de red y permitió presentar una solución ante la degradación.

ABSTRACT
The present work arises from the need to foresee the necessary changes that a portion of LTE backhaul network requires as the demand for data consumption evolves and the users connected to the network increase. With the increase in the flow of data on the network, particularly video streaming traffic, mobile network operators require load testing and a prospective analysis to evaluate network performance.
To improve the performance of the network in the face of the increase in mobile users, we propose to model a portion of the LTE backhaul network of a rural area, in OMNET ++. The network model is based on technical characteristics of functional architecture that, through a server external to the LTE backhaul network, transfers streaming video packets with a length of 1000 bytes to 31 user equipment.
From the first scenario, three test scenarios are proposed with the same network elements of the main structure but with a different number of users. Each test scenario is subjected to a certain number of simulations. The results of the simulations allowed to validate the approximate behavior of the network performance and allowed to present a solution to the degradation.
KEYWORDS: BACKHAUL LTE, PERFORMANCE, OPEN SOURCE, STREAMING VIDEO.

1. Introducción

La red backhaul forma parte de la tecnología actual de comunicación móvil LTE a nivel mundial. Esta tecnología es de gran avance para la industria de las comunicaciones móviles, tiene mayor capacidad, cobertura y velocidad de transmisión de datos, en relación a las tecnologías predecesoras.
Los avances de las comunicaciones móviles a nivel mundial se sustentan sobre la tecnología de red backhaul LTE cuyo sistema es invisible para el usuario, pero cuyas innovaciones y estudio han sido de vital importancia para llegar a los sistemas actuales de comunicación móvil. A medida que evolucionan los sistemas de comunicación móvil aumenta el número de usuario y la demanda del servicio. Estudios con estimaciones conservadoras predicen que existirá mayor cantidad de datos circulando en la red móvil por nuevos dispositivos conectados.
El tipo de dispositivo más común para acceder a la red móvil es el Smartphone, este dispositivo genera un tráfico de 929 MB por mes, para el 2020 se estima que el tráfico será de 4406 MB por mes [1]. Nueve de cada diez personas conectadas a internet en América latina utilizan el Smartphone, según la publicación realizada por comScore Inc e IMS Internet Media Services, sobre el consumo móvil en la región. Los usuarios de red tienden a demandar cada vez más servicios audiovisuales. En la actualidad, de todo el tráfico que existe en la red, el 67 % es provocado por el streaming de video. Se espera que para los próximos años este porcentaje sea mayor, según el reporte de Cisco Visual Networking Index 2017.
El objetivo general de la investigación es modelar una red Backhaul LTE utilizando software Open Source para mejorar el desempeño de la red, ante el incremento de usuarios móviles. Para cumplir con el propósito de la investigación también se estableció objetivos específicos. Diseñar un modelo de red backhaul LTE considerando los elementos de infraestructura característicos. Implementar cuatro escenarios de simulación a partir del modelo de red backhaul LTE, para realizar carga de tráfico streaming de video aumentando equipos de usuario. Evaluar el desempeño de la red backhaul LTE fundamentado en los resultados obtenidos en el proceso de simulación de los escenarios, para detectar posibles degradaciones en el desempeño de red.

2. Marco Referencial

2.1. Red móvil LTE

Las siglas LTE representan el término en ingles Long Term Evolution, traducido al español significa Evolución a largo Plazo. LTE es una tecnología de trasmisión de datos que ofrece acceso a internet a los dispositivos móviles.
LTE surge principalmente de las necesidades de conexión de los usuarios para subir y bajar datos a tasas de trasmisión cada vez más exigentes. LTE es una tecnología que de acuerdo con la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) fue considerada como 3.9G, ya que no cumplía con los requisitos del IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications - Advanced), en términos de velocidades de transmisión que debían ser iguales o superiores a 1 Gbps. Lo mismo ocurría para WiMAX móvil 1.0 (IEEE 802.16e), lo que no permitía a los comercializadores de equipos ofrecer LTE y WiMAX como tecnologías de 4G.
En diciembre de 2010, la UIT reconsidero su definición para sistemas 4G y dio su autorización para describir tecnologías LTE y WiMAX móvil 1.0 como sistemas 4G [2].

2.2. Arquitectura de red backhaul LTE

La red backhaul LTE es el medio de transporte entre las eNBs (evolved NodeBs) y los elementos de frontera de la red EPC (Evolved Packet Core). Los elementos de frontera que se encuentran en EPC son

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

los MME (Mobility Management Entity) en español se entiende que es la entidad de gestión de movilidad y SGW (Serving Gateway) en español puerto de servicio y PGW (Packet Data Network Gateway) puerto de enlace a paquetes de datos. Los elementos de red se aprecian en la Figura 1.

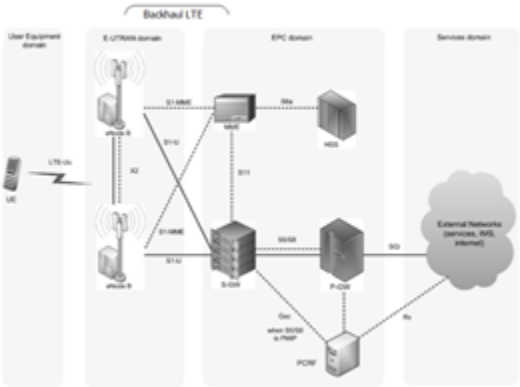

Figura 1: Arquitectura de Red backhaul en LTE
Fuente: [3]

2.3. Interfaces de comunicación de la red backhaul

El dominio E-UTRAN tiene tres interfaces de comunicación, mediante ellos se comunica con el resto de elementos del sistema, las interfaces son: E-UTRAN Uu o LTE Uu, S1, X2.
La interfaz LTE Uu, es la interfaz de radio LTE, que admite la transmisión de información por el canal radio entre la eNB y el equipo de usuario. La interfaz S1 permite conectar el eNB con la red de Core de paquetes evolucionada EPC. De forma concreta la interfaz S1 contiene dos interfaces, S1-MME que sustenta el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario [4]. S1-MME se relaciona a los protocolos necesarios para sustentar la operación de la interfaz, la configuración del eNB se realiza desde la EPC a través de S1-MME. S1-U se relaciona a los protocolos que son utilizados para el envío de tráfico (paquetes IP) generado por los usuarios entre el E-UTRAN y EPC (. . .), la red de acceso conocida como E-UTRAN consiste en Nodos B evolucionados (eNBs) que proveen las funciones del enlace radio y el plano de control hacia el móvil.
La Interfaz X2, permite la conexión directa entre los eNBs. A través de esta interfaz realiza el traspaso de tráfico conocido como handoff, mientras que el tráfico asociado a la gestión de movilidad se envía a la entidad de control de movilidad MME por la interfaz S1-c [5].

2.4. Elementos de red backhaul LTE

Los dispositivos que forman parte de la red Backhaul LTE son: eNB, MME, S-GW, P-GW. E-NB: Evolved NodeB, es el elemento funcional de la red de acceso E-UTRAN de LTE, es un elemento híbrido realiza las funciones de estación base y controlador. Este elemento de red se encarga de la comunicación directa e inalámbrica son los UE (User Equipement) equipos de usuario. El eNB utiliza los protocolos E-UTRAN OFDMA para enlaces de bajada y SC-FDMA para enlaces de subida y su interfaz es LTE-Uu.
MME: Mobility Management Entity, es el dispositivo de red LTE y elemento principal del plano de control, su función es administrar el acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. La principal función que realiza MME es la autenticación y autorización del acceso a los servicios de red a los usuarios, a través de E-UTRAN, además realiza el proceso de activación y desactivación del portador.

S-GW: Serving Gateway, es el dispositivo de red LTE cuya función prioritaria es enrutar y reenviar paquetes de datos de usuario. Además es el responsable del intercambio de tráfico de usuario entre la red de acceso y el núcleo de red IP. Este tráfico IP es procesado a través de filtros que asocian cada paquete IP con el usuario y servicio que corresponda.
P-GW: Serving Gateway, es el dispositivo de red encargado de brindar conectividad entre la red LTE y las redes externas. El P-GW es el punto de conexión IP para el UE, en las redes esto se denomina puerta de enlace predeterminada. El P-GW asigna la dirección IP al UE, que le permite comunicarse con otros host IP en las redes externas o en internet. Además el P-GW actúa como punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y las redes externas.

2.5. Tráfico en la red backhaul LTE

El tráfico en la red backhaul LTE no es constante todo el tiempo, según el libro LTE backhaul, desarrollada por Esa Metsala indica que la fluctuación circundante de datos en la red varia en el trascurso del día y entre días de la semana. El momento que existe mayor demanda de datos en la red se conoce como carga de hora ocupada.
Debido a la rutina diaria y la movilidad de los usuarios, la carga de tráfico de un eNB no suele ser constante en el tiempo sino que alcanza su máxima demanda de tráfico durante la denominada carga de hora ocupada BH (Busy Hour) (. . .), esto se da cuando la carga demandada es mucho mayor que el resto del día [6].

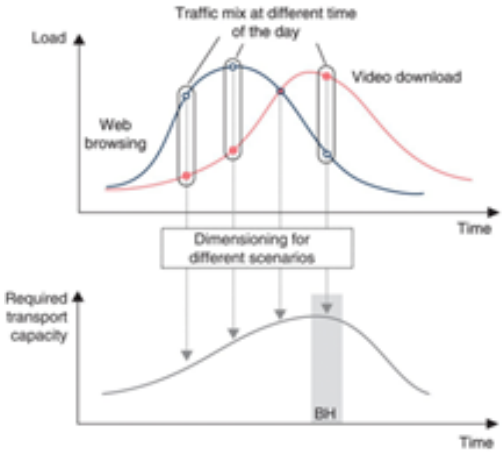

Figura 2: Demanda de tráfico de datos en un día - Carga de hora ocupada
Fuente: (Metsala & Salmelin, 2016, pág. 46)

La Figura 2 muestra el comportamiento de la demanda del tráfico en eNB en función del tiempo, en este caso para un día. Un eNB puede tener más de un período de carga máxima durante un día normal. La carga máxima de un eNB está limitada por los recursos de la interfaz aérea y la capacidad de procesamiento de banda base de los eNB (. . .), la periodicidad más significativa de la carga de tráfico es de una vez al día. Sin embargo, además de la periodicidad diaria, pueden observarse períodos más largos. Por ejemplo, el tráfico puede ser diferente los días de la semana que durante el fin de semana, como muestra la Figura 3 [6].

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

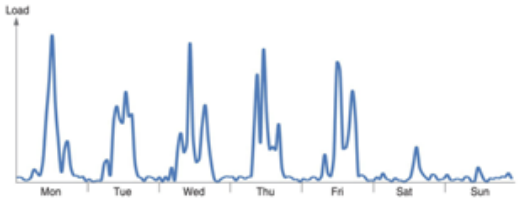

Figura 3: Demanda de tráfico de datos en una semana - Perfil de carga semanal
Fuente: (Metsala & Salmelin, 2016, pág. 42)

Si el transporte del eNB está dimensionado para una demanda de tráfico menor que la resultante definida, la calidad de servicio ofrecida a las conexiones admitidas o el rendimiento de las conexiones de datos se limitará inaceptablemente durante el BH (Metsala & Salmelin, 2016, pág. 43).

3. Metodología de Investigación

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utiliza para el desarrollo del trabajo de titulación, es cuasi experimental, que se deriva del tipo experimental. Una de las características que posee este tipo de investigación es aislar el objeto de estudio y crear las condiciones necesarias para manipular una variable no comprobada, en condiciones controladas. En definitiva este tipo de investigación pretende definir las relaciones causales entre las variables [7]. Las variables definidas en la investigación son independiente y dependiente. La variable independiente definida como modelación de una red backhaul es la representación de la red de datos modelada en software OMNET++, el cual permite modificar condiciones de red con la finalidad de analizar la variable dependiente, definida como el desempeño de red.

3.2. Diseño de la investigación

Se plantea crear un modelo representativo de red backhaul LTE implementado en un software open Source. El modelo de red tiene características técnicas de arquitectura funcional, que a través de un servidor externo a la red transfiera paquetes de video streaming a 31 equipos de usuario que corresponde al promedio de conexiones que soporta el E-NB en el transcurso del día.
A partir del modelo de red backhaul LTE se derivan los escenarios de simulación. Los escenarios consisten en mantener la estructura de red y variar el número de equipos de usuario. El primer escenario propuesto tiene 31 equipos terminales, el cual van incrementándose a 38, 45 y 52. Este incremento corresponde al índice de penetración de LTE en América Latina sobre la utilización de los Smartphone en la red LTE (CEPAL, 2016, pág. 50).
Cada escenario de prueba será sometido a simulaciones. El número de simulaciones representa la periodicidad más significativa de la carga de tráfico en dos meses que presenta la red backhaul LTE. Cada simulación tendrá una duración de 10 segundos en el simulador, este tiempo representa la simultaneidad de utilización de todos los equipos de usuario que se conectan a la red backhaul LTE en un momento determinado del día. Cada simulación en tiempo real tiene una duración de 20 a 30 minutos dependiendo de escenarios a simular.

3.3. Métodos de investigación

Los métodos utilizados en la investigación son: Método científico, este método tiene la caracteriza de ser organizado y metódico, excluye la intuición y la subjetividad, por esta razón este método es aplicado para el desarrollo del presente trabajo de investigación. Entre las etapas más representativas que contiene este método se encuentra, el planteamiento del problema, marco teórico, hipótesis, variables y análisis de resultados [8], etapas con las que cuenta el trabajo de investigación planteado.
Método sistémico, este método consiste en la unión racional de varios elementos para establecer un modelo [9], por las características que presenta este método de investigación, es aplicable al capítulo de la modelación de red backhaul LTE, en la cual se determina los componentes de red y la relación que existe entre ellos para formar la red backhaul LTE. Por la naturaleza de la investigación este método fue el más extenso y difícil de efectuar debido a la complejidad para definir la funcionalidad de cada elemento que forma parte de la red.
Método deductivo, este método permite partir de datos generales aceptados como valederos y deducir por medio del razonamiento explicaciones particulares [8], por este motivo este método se aplica en el Análisis de resultados, en la cual se parte de resultados generales de cada escenario para establecer resultados particulares de cada elemento que forma parte de la red backhaul LTE. Método analítico, el cual tiene su utilidad al momento de estudiar los resultados obtenidos en las simulaciones, a partir del cual se establece juicios críticos.
Método comparativo, este procedimiento establece similitudes y diferencias de los resultados [8], este método se ajusta al propósito de la investigación ya que se establece una comparación de los resultados obtenidos en cada escenario de pruebas y a partir de ello establecer las conclusiones sobre el comportamiento de los elementos, medios de comunicación y desempeño de la red backhaul LTE ante el incremento de los usuarios móviles conectados en la red.

3.4. Enfoque de la investigación

El enfoque que presenta el trabajo de investigación es cuantitativo, debido a que en el trabajo de investigación se pretende medir y estimar magnitudes [10]. Este enfoque se adapta a los requerimiento del trabajo de investigación ya que los resultados de los datos obtenidos en los escenarios simulación, en relación a los paquetes perdidos de los enviados, se representa mediante tablas de valores numéricos, porcentajes y representaciones gráficas que permiten apreciar los valores cuantitativos de forma evidente y admiten determinar particularidades.

3.5. Alcance de la investigación

La presente investigación tiene alcance descriptivo, este alcance permite especificar características del objeto de estudio el cual es sometido a análisis [10], este alcance conviene aplicar al trabajo de investigación por que permite describir las características de una porción de red backhaul LTE de orden rural y su comportamiento de desempeño ante el incremento del flujo de datos provocado por el aumento de usuarios móviles.
La investigación tiene alcance correlacional, este alcance tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre variables [10] por lo tanto este alcance es aplicado a la investigación cuyo propósito es conocer la relación que existe entre el número de equipos que demandan trafico streaming de video y la tasa de pérdidas de paquetes en los distintos escenarios de prueba a través del cual permitan conocer el desempeño de red backhaul LTE.
La investigación también tiene alcance explicativo, este alcance pretende establecer las causas de los evento y las condiciones en que se manifiesta el objeto de estudio [10], por ello este alcance es aplicado a la investigación debido a que mediante la interpretación de resultados se procura responder las posibles

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

causales de los efectos que provoca el aumento del tráfico de datos en el desempeño de la red backhaul LTE.

4. Modelación de una Porción de Red Backhaul

El modelo de red se crea a partir de una estructura funcional de red backhaul LTE. La porción de red backhaul, está ubicada en el sector rural de la ciudad de quito, brinda servicio a la comuna de llano grande. La estructura de red es de tipo no ideal donde el despliegue de la tecnología es para pocos abonados en un área muy extendida. Sin embargo en los próximos años se prevé una tasa de crecimiento población debido a proyecciones de mejoramiento del trazado vial [**13**]. Para crear el modelo de red backhaul LTE, se instaló en el computador de manera secuencial las herramientas software OMNET++ de la página web oficial https://www.omnetpp.org/, INET [11] Framework de la página oficial https://inet.omnetpp.org/Introduction.html y SimuLTE de http://simulte.com/index.html. Con el software disponible en el computador se trabaja sobre OMNET++ en el modelo de red que representa una porción de la backhaul LTE de estructura funcional.
Para el modelamiento se considera como referencia una ubicación real del eNB. El eNB está situado en la parroquia de Llano grande, sector rural del nororiente de la ciudad de Quito. Ubicación Geográfica 0°07'20.1"S 78°26'03.4"W, Código de área LAC 14500, Código País móvil MCC 740-Ecuador, Código Operador móvil MNC1, Cell ID 131350049.
El modelamiento de red es aplicado a esta zona debido a que representa a una zona rural con amplio territorio pero bajamente urbanizado. Sin embargo en los próximos años se prevé una tasa de crecimiento población debido a proyecciones de mejoramiento del trazado vial (Scholz, Morales, & Mena, 2015). El escenario que se ajusta para el modelamiento de red se muestra en la Figura 4.

Figura 4: Porción de red backhaul LTE
Elaborado por: Santiago Alvaro

La naturaleza de red backhaul LTE soporta variedad de tráfico de datos, sea video, audio, Voz sobre LTE, video y audio simultaneo, entre otros [12]. Sin embargo en el modelo a simular se define que la infraestructura backhaul LTE solo soporta video y audio simultaneo conocido como streaming de video. Además se considera que la infraestructura de red es de tipo no ideal para zonas rurales, basado en un medio físico de ancho de banda limitado como se indica en la Tabla 1 del documento TR36.932 del propio 3GPP.

Tabla 1: Categoría no ideal de backhaul

Backhaul Technology	**Latency (One way)**	**Throughput**
Fiber Access 1	10-30ms	10M-10Gbps
Fiber Access 2	5-10ms	100-1000Mbps
Fiber Access 3	2-5ms	50M-10Gbps
DSL Access	15-60ms	10-100 Mbps
Cable	25-35ms	10-100 Mbps
Wireless Backhaul	5-35ms	10Mbps – 100Mbps typical, maybe up to Gbps range

Referencia: [13]

La Tabla 1 muestra la categorización del backhaul no ideal, este tipo de backhaul es típico y ampliamente utilizado en el mercado como DSL Access, cable, microondas, en áreas rurales.

4.1. Elementos del modelo de red

Los elementos de red que se han considerado para la construcción de los escenarios de modelación de la red backhaul LTE son los módulos y sub-módulos que se encuentran en la librería de SimuLTE de OMNET++ y se describen en la Tabla2.

Tabla 2: Módulos y sub-módulos de red

Módulo	**Sub-Módulos**
Servidor streaming	udpApp, udp, networkLayer, ppp[0]
Router	networkLayer, ppp[0], ppp[1]
UE	Nic, networkLayer, udp, udpApp
P-GW	Ppp[0], networkLayer, udp, gtp_user, trafficFlowFilter, pppInterface
e-NB	Sctp, trafficFlowLayer, gtp_user, udp, networkLayer, pppIf

Elaborado por: Santiago Alvaro

4.2. Medios Físicos

Cada nodo en la red está identificado por un módulo, para las conexiones entre módulos se utiliza medios físicos. El medio físico más común es fibra óptica de varias categorías.
Los estándares especificados con los que cuenta OMNET++, contienen la Ethernet clásica de 10 Mbps, 100Mbps Fast Ethernet, 1 Gbps Gigabit Ethernet y 10 Gbps Fast Gigabit Ethernet (INET Framework for OMNET++, 2016, pág. 20). La conexión física definida entre los nodos se muestra en la Tabla3.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

Tabla 3: Categoría no ideal de backhaul

Equipo origen	Capacidad Medio físico	Equipo destino
Servidor streamig	10 Gbps	Router
Router	1 Gbps	P-GW
P-GW	10 Mbps	e-NB

Elaborado por: Santiago Alvaro

La capacidad de canal entre el P-GW y e-NB es de 10Mbps, esto se debe a que para el caso de estudio de la red backhaul LTE el ancho de banda es limitado. Considerando que el propio 3GPP indica en TR36.932 que puede coexistir dos tipos de infraestructura backhaul. El tipo 1, el caso ideal basado en fibra óptica y el tipo 2, no ideal compuesto por DSL y enlaces microondas, que es el caso de las zonas rurales o espacios turísticos ubicados a kilómetros de distancia del nodo óptico más cercano.

4.3. Definición de la e-NB y UE

La información que contienen las Tablas 4 y 5 son recomendaciones establecida por la ITU M.2135-1 para Suburban macro-cell las cuales define las características técnicas que tiene la e-Nb y los UEs.

Tabla 4: Parámetros del equipo de usuario

Movilidad	Aleatoria
Ubicación	Aire libre
Potencia de transmission	24[dBm]
Tiempo de conexión a la red	10 [s]

Elaborado por: Santiago Alvaro

Por parte de la e-NB las características técnicas que lo definen se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Parámetros de e-NB

Movilidad	Estática
Ubicación	0°07'20.1"S 78°26'03.4"W
Altura	25[m]
Potencia Suburban	49 [dBm]
Cobertura	Hexagonal
Ganancia antena	17 [dBi]

Elaborado por: Santiago Alvaro

4.4. Configuración del entorno gráfico

Para establecer el entorno gráfico del escenario de prueba, se desarrolla las líneas de programación en lenguaje NED. El archivo que contiene la programación del entorno de simulación en el archivo Single-Cell.numUE.NED.

```
// Líneas del programa principal
        package lte.simulations.networks;
        inet.networklayer.configurator.ipv4.IPv4NetworkConfigurator;
        import inet.networklayer.ipv4.RoutingTableRecorder;
        import inet.node.ethernet.Eth10G;
        import inet.node.ethernet.Eth1G;
        import inet.node.ethernet.Eth10M;
        import inet.node.inet.Router;
        import lte.corenetwork.nodes.eNodeB;
        import lte.epc.PgwStandardSimplified;
network SingleCell
{
   parameters:
      int numUe = default(1);
display("i=block/network2;bgb=991,558;bgi=background/budapest");
   submodules:
      server: StandardHost {
         @display("p=212,118;is=n;i=device/server");
      }
      router: Router {
         @display("p=321,136;i=device/smallrouter");
      }
      pgw: PgwStandardSimplified {
         nodeType = "PGW";
         @display("p=519,175;is=l");
      }
      eNodeB: eNodeB {
         @display("p=391,259;is=vl");
      }
      ue[numUe]: Ue {
         @display("p=783,278");
      }
   connections:
      server.pppg++ <--> Eth10G <--> router.pppg++;
      router.pppg++ <--> Eth1G <--> pgw.filterGate;
      pgw.pppg++ <--> Eth10M <--> eNodeB.ppp;
}
```

Figura 5: Líneas de programación que definen el escenario principal
Elaborado por: Santiago Alvaro

Las líneas de programación, mostradas en la Figura 5, son la parte principal del archivo SingleCell.numUE.NED. Allí se declara los sub-módulos que contiene la red, como el servidor streaming, router, pgw, eNodeB, UEs, con sus vectores de posición.
También se declara los tipos de conexiones entre los sub-módulos. Además se define el entorno gráfico que tendrá el escenario de simulación, como se muestra en la Figura 6. Y lo más importante se define las librerías para que los sub-módulos funcionen con normalidad.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

Figura 6: Entorno gráfico del escenario de prueba de la red backhaul LTE
Elaborado por: Santiago Alvaro

A partir de este escenario se derivan los demás escenarios de prueba, mostrados en la Figura 7, que consisten en mantener la infraestructura de red y variar el número de equipos de usuario conectados de forma simultánea.
En el primer escenario de pruebas, la demanda de tráfico streaming satisface a 31 UEs que se conectan a la red, el segundo escenario de pruebas se valida sobre el primer escenario aumentando el número de UEs a 38, el tercer escenario de pruebas se valida sobre el segundo escenario aumentando el número de UEs a 45 y el cuarto escenario se valida sobre el tercer escenario, incrementando el número de UEs a 52. Los escenarios de prueba se muestran en la Figura 7.

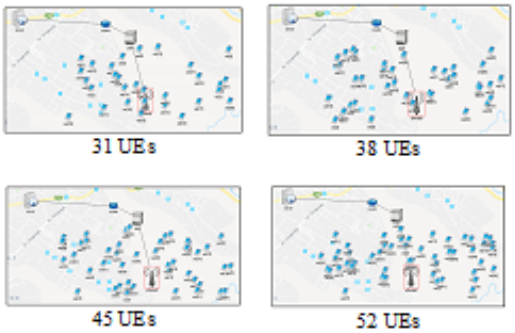

Figura 7: Escenarios de prueba de la red backhaul LTE
Elaborado por: Santiago Alvaro

El proceso de conexión entre el usuario y servidor se inicia con la comunicación entre el UE User Equipment y el eNB envolved NodeB a través de una interfaz de radio enlace. El eNB envía la información a través de la interfaz de usuario al P-GW. Esta información está compuesta por una cabecera IP y la data.
En la cabecera IP se aloja la dirección IP de los equipos de usuario y la dirección IP destino del servidor, demandando streaming de video. El servidor streaming de video envía un número específico de fotogramas a una tasa específica de transferencia según cada escenario, estos fotogramas llegan a cada nodo de la red y allí se realiza el recuento de los fotogramas.
Los escenarios de prueba tienen un incremento de equipos de usuario a partir del escenario principal de modelación que va desde 31, 38, 45, hasta 52 UEs que se conectan a la red. Este incremento corresponde al índice de penetración de LTE en América Latina sobre la utilización de los Smartphone en la red LTE. Cada escenario de pruebas es sometido a trafico streaming de video que demandan los usuarios. El número de simulaciones definido por cada escenario es de 36.
En los escenarios de modelación, los recursos de radio disponible se dividen entre suscriptores activos. Por

lo tanto cuanto más abonados estén activos, menos recursos se asignarán a un suscriptor determinado. Debido a la rutina diaria y la movilidad de los usuarios, la carga de tráfico de un eNB no suele ser constante en el tiempo sino que alcanza su máximo durante la denominada hora ocupada, cuando la carga demandada es mucho mayor que el resto del día, considerando esta información, el tiempo considerado por cada simulación es de 10 segundos, cuando todos los UE se conecten simultáneamente a la red.
Una vez establecidas las condiciones de red y definidos los elementos que intervienen en la infraestructura se procede a ejecutar las simulaciones para obtener resultados que se acerquen a un comportamiento de lo más real posible.

5. Análisis de Resultados

El documento RFC 2544 de la IETF define una serie de pruebas que se puede utilizar para describir el desempeño de una red, entre ellas están el Frame Loss Rate, Porcentaje de Tramas Perdidas [14]. Frame Loss Rate, es el parámetro que se toma en cuenta en esta investigación para determinar el desempeño de la red backhaul LTE. La razón por la cual se eligió este parámetro se debe a que el servicio que ofrece la red es streaming de video visualizada por el usuario y explícitamente por el ojo humano, el cual no percibe distorsión si solo se pierde un número bajo de paquetes consecutivos. Cuando el número de paquetes perdidos se incrementa, percibe distorsión o hasta interrupción en la reproducción del video. Este parámetro es el más adecuado para la investigación ya que ofrece una medida objetiva de la percepción del video por parte del usuario y mediante la cuantificación directa en la simulación se puede establecer el número de paquetes enviados y recibidos en cada nodo y enlace.

5.1. Análisis de paquetes perdidos en la transmisión

A continuación en la Tabla 6, se muestra de manera resumida, el número de paquetes enviados por el servidor de streaming en cada escenario de simulación así como también el número de paquetes perdidos en todo el trayecto de red LTE.

Tabla 6: Tasa de paquetes pedidos en todo el trayecto de red

Escenario	**Número de equipos de usuario**	**Paquetes promedio enviados por el servidor**	**Paquetes promedio recibidos en el E-NB**	**Paquetes promedio perdidos en la red**
1	31	12717	11962	755
2	38	17755	11928	5827
3	45	20627	11834	8793
4	52	22832	11931	10901

Fuente: Información recuperada de las simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

Para mejorar la interpretación de resultados obtenidos en el proceso de simulación se presenta la Tabla 7, la cual muestra el número de paquetes perdidos en cada enlace y elemento de red.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

Tabla 7: Paquetes perdidos por cada elemento de red y enlace

Escenario	Paquetes perdidos enlace Server-Router	Paquetes perdidos en el Router	Paquetes perdidos enlace Router-PGW	Paquetes perdidos en PGW	Paquetes perdidos enlace PGW-eNB
1	0	5	0	3	747
2	0	8	0	8	5811
3	0	12	1	8	8772
4	0	17	12	11	10871

Fuente: Información recuperada de las simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

Según la Tabla 7, en el escenario 1 se pierden en promedio 5 paquetes en el Router, en el PGW se pierden 3 paquetes; sin embargo en la transmisión entre el PGW y el E-NB, se pierden 747 paquetes de información. En el escenario 2, en promedio, se pierden 8 paquetes en el Router, en el PGW se pierden 8 paquetes; sin embargo en la transmisión entre el PGW y el E-NB, se pierden 5811 paquetes de información. En el escenario 3, en promedio, se pierden 12 paquetes en el Router, en la transmisión entre el Router y P-GW se pierde 1 paquete, en el PGW se pierden 8 paquetes; sin embargo en la transmisión entre el PGW y el E-NB, se pierden 8772 paquetes de información. En el escenario 4, en promedio, se pierden 17 paquetes en el Router, en la transmisión entre el Router y P-GW se pierde 2 paquetes, en el PGW se pierden 11 paquetes; sin embargo en la transmisión entre el PGW y el E-NB, se pierden 10871 paquetes de información.
Al observar los promedios de paquetes perdidos en la transmisión desde el PGW al eNB, se aprecia que este representa el paso más crítico de toda la transmisión. Con 31 UEs se pierde un promedio de 755 paquetes. En la medida en que se agregan más equipos de usuario las pérdidas se incrementan. En el escenario 2 se pierde el 5811 paquetes, mientras que en el escenario 3 las pérdidas de paquetes son 8772 y, finalmente, en el escenario 4 se pierden 10871 paquetes. En la Figura 8 se muestra la interpretación gráfica de los paquetes enviados por el PGW y recibidos por el E-NB.

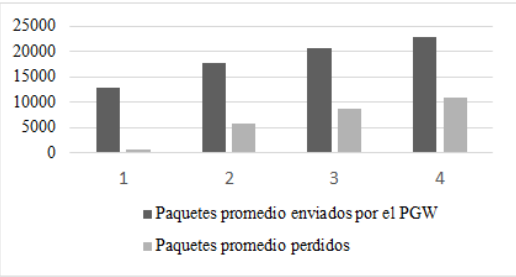

Figura 8: Paquetes enviados PGW y paquetes recibidos E-NB
Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

Para determinar la tasa de paquetes perdidos, se toma en cuenta el número de paquetes enviados por el PGW y el número de paquetes recibidos por el E-NB, a través de la siguiente formula:

$$FRL = \frac{|Paq.Enviados - Paq.Recibidos| * 100}{Paq.Enviados}$$

Paq.Env, es el número de paquetes enviados Paq.Rec, es el número de paquetes recibidos FLR, es Frame Loss Rate. [15]

Tabla 8: Tasa de paquetes perdidos en el backhaul LTE

Escenario	**Número de equipos de usuario**	**Paquetes promedio enviados PGW**	**Paquetes promedio recibidos E-NB**	**Tasa de paquetes perdidos en el backhaul LTE** [%]
1	31	12709	11962	5,88
2	38	17739	11928	32,76
3	45	20627	11834	42,57
4	52	22832	11931	47,68

Fuente: Información recuperada de las simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

La representación gráfica de la tasa de paquetes perdidos (eje y) en función del número de equipos (eje x) conectados en la red, se muestra en la Figura 9.

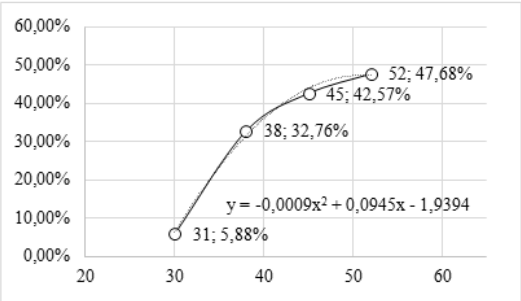

Figura 9: Tasa de paquetes perdidos en la transmisión de la red backhaul (eje y) vs UEs (eje x)
Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

Al aplicar la herramienta de estimación de tendencia polinómica de MS-Excel, se puede realizar una estimación aproximada de las pérdidas que representa la incorporación de equipos (UEs) en la red. Considerando que en el escenario 2 se incorporaron 7 nuevos UEs, en el escenario 3 se agregaron 7 UEs y en el escenario 4 hubo una adición de 7 equipos, se establece la ecuación polinómica que describe la tasa de paquetes perdidos. A través de esta ecuación se estima que en escenarios con menor número de UEs, el porcentaje de paquetes perdidos disminuye, tal como se describe en la Tabla 9.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

Tabla 9: Estimación de la tasa de paquetes perdidos en escenarios con menor número de UEs.

	Escenario			**Esc. 1**	**Esc. 2**	**Esc. 3**	**Esc. 4**
Equipos de usuario	27	28	29	31	38	45	52
Tasa de paquetes perdidos	0,00 %	<1 %	2,32 %	5,90 %	32,80 %	42,60 %	47,70 %

Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

La Tabla 9, muestra que en un escenario con 28 UEs, el porcentaje de paquetes perdidos no supera el 1 %. Menos de 28UEs la tasa de perdidas es de 0,00 % y más de 28 UEs, el porcentaje de perdidas es ascendente. Por consiguiente el número máximo de UEs que soporta la red backhaul con un máximo aceptable de 1 % de paquetes perdidos es con 28 UEs.

5.2. Análisis de desempeño de la red backhaul LTE

El desempeño de red consiste en garantizar la disponibilidad del servicio, asegurar que la transmisión de datos llegue al usuario en todo momento. El reglamento de prestación del servicio de telefonía de la operadora Claro en el ítem 25 respecto a las condiciones de servicio ofrecido, indica: "La operadora prestará sus servicios en estricto apego a la regulación vigente en materia de calidad y es enteramente responsable por los servicios prestados de su propia red, garantizando una disponibilidad de al menos el 99,97 %".
La resolución Nro CZO2-2018-001 [16], de acuerdo con la definición de las normas ISO 27001 y las mejores prácticas para la administración de servicios de TI (ITIL) la disponibilidad del servicio no debería ser menos del 99,4 %. Considerando el reglamento interno de la operadora y el reglamento de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones el porcentaje mínimo de desempeño que debe presentar de red será mayor al 99,4 %.
Para determinar el desempeño de red se consideró la mayor carga de tráfico en cada escenario, esto ocurre cuando todos los abonados demandan simultáneamente streaming de video. Por medio de los resultados obtenidos a través de las simulaciones de tráfico se determina el comportamiento aproximado del desempeño de red backhaul LTE a través de la siguiente formula:

$$Desempeño = \frac{|Paq.Enviados - Paq.Perdidos| * 100}{Paq.Enviados}$$

Tabla 10: Desempeño de la red backhaul LTE

Escenario	Número de equipos de usuario	Paquetes promedio enviados PGW	Paquetes promedio recibidos E-NB	Desempeño de la red backhaul LTE [%]
1	31	12709	747	94,12
2	38	17739	5811	67,24
3	45	20627	8772	57,43
4	52	22832	10871	52,32

Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

La información del desempeño de red mostrada en la Tabla 10, es representada mediante la Figura 10, allí se evidencia que al incrementar el flujo de datos debido al aumento de equipos de usuario, el desempeño de red se va degradando, ante este panorama es necesario plantear una solución.

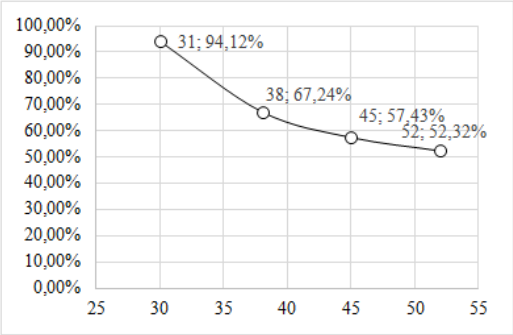

Figura 10: Rendimiento del Backhaul (eje y) vs equipos de usuario (eje x)
Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

5.3. Planteamiento de solución

En base a los criterios de análisis se presenta una posible solución que se puede implementar ante la degradación de desempeño que muestra la red. Siendo el P-GW el elemento de red en el cual se forma el cuello de botella y el que envía la ráfaga de streaming de video a través del enlace de 10Mbps a la e-Nb, es necesario establecer un mecanismo que permita modificar la longitud de los paquetes antes de ser enviarlos hacia la e-Nb, reduciendo así la exigencia del ancho de banda.
Para proponer una solución, es importe saber que el protocolo que se utiliza para la transmisión del streaming de video es RTSP Real Time Streaming Protocol. Este protocolo al ser no orientado a conexión utiliza UDP User Datagram Protocol a nivel de transporte. Los campos del datagrama UDP se muestran en la Figura 11.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

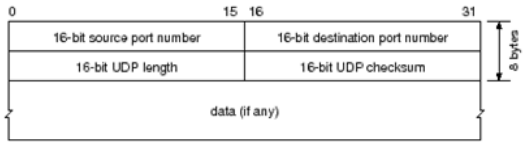

Figura 11: Rendimiento del Backhaul (eje y) vs equipos de usuario (eje x)
Fuente: https://tools.ietf.org/html/rfc768

La cantidad de bytes enviados en un paquete UDP es controlable por ende el tamaño del paquete UDP también lo será. El campo para los datos de la trama tiene una longitud máxima de 1500 bytes. La cantidad de bytes en el campo data será máximo 1472 bytes, esto se debe a que de los 1500 bytes se resta 20 bytes de la cabecera IP y 8 bytes de la cabecera UDP.

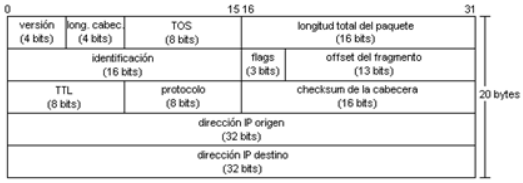

Figura 12: Cabecera IP
Fuente: http://arantxa.ii.uam.es/ rc2lab/practicas.html/prac2/index.html

Los campos que definen al datagrama UDP se muestran en la Figura 12 y se describe a continuación. Source port number, en este espacio se define el puerto de origen relacionado con la aplicación. El campo del source port tiene una longitud de 16 bits, por lo que el rango de valores va desde 0 a 65535.
Destination port number, en este espacio se define el puerto de destino que corresponde a la aplicación del equipo receptor. Lenght, en este espacio se define la longitud total del segmento con el encabezado incluido. La longitud de este campo es necesariamente mayor o igual a 8 bytes. Checksum, por medio de este campo se realiza la suma de comprobación de la integridad del segmento.
Con la información de los campos del datagrama UDP y por medio de la modelación se estableció que en el servidor streaming de video, este alojado un archivo multimedia de tamaño de 1 MiB (mebibytes) equivalente a 1,048576 MB cuya velocidad de entrega sea de 50 fps y que cada paquete UDP tenga una longitud de 1000 bytes. Con estos parámetros y con los 31 UEs conectados de forma simultánea en la red, como se determinó en el primer escenario, se obtuvo 5,93 % de paquetes perdidos en el enlace P-GW y e-NB.
Para reducir la tasa de paquetes perdidos en este tramo de red se varía gradualmente la longitud del paquete en el P-GW antes ser enviado a la e-NB. A través de la variación de este parámetro y a través de la simulación, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 11: Variación de la longitud del paquete en el primer escenario

Número de UEs	**Longitud del paquete [bytes]**	**Paquetes enviados P-GW**	**Paquetes recibidos E-NB**	**Paquetes perdidos en el enlace P-GW/E-NB**	**Tasa de paquetes perdidos [%]**	**Desempeño de red backhaul [%]**
31	1000	12488	11748	740	5,93	93,70
31	900	12488	12001	487	3,90	95,94
31	800	12488	12468	20	0,16	99,84

Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

La Tabla 11 muestra que variando la longitud del paquete de forma gradual descendente se puede reducir la tasa de paquetes perdidos. La longitud óptima del paquete para este escenario es 800 bytes, con este valor se logra obtener 0,16 % de paquetes perdidos y se garantiza que el desempeño de la red backhaul sea mayor a 99 %.
Manteniendo los mismos parámetros del servidor, pero con los 38 UEs conectados de forma simultánea en la red como se determinó en el segundo escenario, se obtuvo 32,80 % de paquetes perdidos en el enlace P-GW y e-NB. Para reducir la tasa de paquetes perdidos en este tramo de la red se varía gradualmente la tasa de envío en el P-GW. A través de la variación de este parámetro y con ayuda de la simulación, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 12: Variación de la longitud del paquete en el segundo escenario

Número de UEs	**Longitud del paquete [bytes]**	**Paquetes enviados P-GW**	**Paquetes recibidos E-NB**	**Paquetes perdidos en el enlace P-GW/E-NB**	**Tasa de paquetes perdidos [%]**	**Desempeño de red backhaul [%]**
38	800	17739	14469	3270	18,43	77,40
38	700	17739	16365	1374	7,75	91,60
38	600	17739	17733	6	0,03	99,97

Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

La Tabla 12 muestra que reduciendo la longitud del paquete de forma gradual se logra disminuir la tasa de paquetes perdidos. La longitud óptima del paquete para este escenario es 600 bytes, con esta longitud de paquete se logra obtener 0,03 % de paquetes perdidos y se garantiza que el desempeño de la red backhaul sea mayor a 99 %. De la misma forma para el tercer y cuarto escenario se mantuvieron los valores predeterminados del servidor y se fue variando el tamaño del paquete en el P-GW antes de ser entregado a la e-NB. Los resultados que se obtuvieron se muestran en las Tablas 13 y 14 respectivamente.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

Tabla 13: Variación de la longitud del paquete en el segundo escenario

Número de UEs	**Longitud del paquete [bytes]**	**Paquetes enviados P-GW**	**Paquetes recibidos E-NB**	**Paquetes perdidos en el enlace P-GW/E-NB**	**Tasa de paquetes perdidos [%]**	**Desempeño de red backhaul [%]**
45	700	20606	16367	4239	20,57	74,10
45	600	20606	18835	1771	8,59	90,60
45	500	20606	20600	6	0,03	99,97

Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

La Tabla 13 muestra que reduciendo la longitud del paquete a 500 bytes, el porcentaje de paquetes perdidos se reduce a 0,03 % y se garantiza que el desempeño de la red backhaul sea mayor a 99 %.

Tabla 14: Variación de la longitud del paquete en el segundo escenario

Número de UEs	**Longitud del paquete [bytes]**	**Paquetes enviados P-GW**	**Paquetes recibidos E-NB**	**Paquetes perdidos en el enlace P-GW/E-NB**	**Tasa de paquetes perdidos [%]**	**Desempeño de red backhaul [%]**
52	600	22802	18836	3966	17,39	78,94
52	500	22802	22178	624	2,74	97,19
52	400	22802	22780	22	0,1	99,9

Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

La Tabla 14 muestra que al reducir la longitud de los paquetes a 400 bytes, la tasa de paquetes perdidos se reduce a 0,10 % y se garantiza que el desempeño de la red backhaul sea mayor a 99 %.
Con este planteamiento de solución se ha logrado superar la dificultad mostrada en la red backhaul LTE y se permite garantizar la mayor entrega de la información a la e-NB. La Tabla 15 muestra la tasa de paquetes perdidos que se logra con la reducción de la longitud del paquete. También se puede observar que la longitud del paquete varía por escenario.
En la simulación no se estableció un mecanismo automático que permita variar la longitud del paquete cuando exista mayor flujo de datos debido a que la implementación requeriría de mayor tiempo de dedicación para la investigación. A pesar de ello se ha logrado establecer la longitud óptima del paquete en cada escenario de prueba para minimizar la tasa de paquetes perdidos, tal como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15: Desempeño de red backhaul LTE

Esc.	Número de UEs	Longitud del paquete [bytes]	Paquetes enviados P-GW	Paquetes recibidos E-NB	Tasa de paquetes perdidos [%]	Desempeño de red backhaul [%]
1	31	800	12488	12468	0,16	99,84
2	38	600	17739	17733	0,03	99,97
3	45	500	20606	20600	0,03	99,97
4	52	400	22802	22780	0,10	99,90

Fuente: Simulaciones
Elaborado por: Santiago Alvaro

6. Conclusiones

OMNET++ como herramienta de modelación y simulación del tipo Open Source, permitió diseñar un modelo representativo de una porción de red backhaul LTE de orden rural, a través de un conjunto de elementos característicos de la red.
A partir del modelo de red planteado se logró crear los escenarios de prueba considerando los mismos elementos de red pero con incremento en el número de equipos de usuario, a través de ello se logró evaluar el desempeño de red, en porcentajes que va desde 94,12 % al 67,24 % del 67,24 al 52,43 % hasta llegar al 52,32 % demostrando que el desempeño de red presenta degradación.
Mediante la modelación de red se consiguió variar de forma gradual la longitud de los paquetes de información, enviados desde el P-GW hasta el E-NB, la longitud óptima del paquete permitió establecer una tasa de paquetes perdidos menor del 1 % y con ello asegurar que la disponibilidad de la red sea mayor al 99,4 % tal como recomienda ARCOTEL.
La simulación de la porción de red backhaul LTE mediante la utilización del software del tipo Open Source, permitió mejorar el desempeño de red ante la inminente degradación, sin necesidad de intrusión a equipos, pruebas físicas que interrumpan operaciones, gastos de operatividad para las pruebas de carga o esperar la inconformidad del servicio por parte de los usuarios para establecer cambios.

7. Recomendaciones

Se recomienda que para la modelación y simulación de red se disponga de un clúster para incluir variedad de tráfico, elementos del plano de control, aumentar el número de E-NB y que además permita realizar mayor número de simulaciones en menor tiempo. En caso de no disponer el hardware recomendado la simulación quedara limitado a un número máximo de simulaciones por cuestiones de hardware y tiempo.
En la medida de la disponibilidad de un computador con alta capacidad de procesamiento se recomienda considerar otros parámetros utilizados para medir el desempeño de red como el jitter, latencia, throughput los cuales permitirán obtener resultados más concluyentes.
Se recomienda que antes de realizar el remplazo del medio de transmisión el cual incluye gastos operativos y de equipamiento se busque alternativas para contrarrestar problemas de congestión en la red backhaul a través de la gestión de paquetes.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 1-22 ISSN 2550-6730

8. Agradecimientos

A mi esposa Paty por todo su apoyo incondicional, a mis hijos Celia y Jhoan fuente de inspiración que me permiten día a día seguir cumpliendo los objetivos de vida. Y sobre todo a mi Dios por regalarme la vida y ser fuente de inspiración. A mi Tutor de tesis, Carlos Gualberto Badillo un agradecimiento especial por compartir su conocimiento y tiempo, sugerencias y aportaciones críticas para el desarrollo de la tesis.
A los miembros del tribunal, Marco Vinicio Ramos y Gladys Lorena Aguirre por su conocimiento y disponibilidad para la revisión y corrección de este trabajo de investigación.

Referencias

[1] Cepal.org. *Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe 2016 | Publicación | Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. 2016. URL: https://www.cepal.org/es/publicaciones/40528-estado-la-banda-ancha-america-latina-caribe-2016 (visitado 10-10-2018).

[2] Christopher (Christopher Ian) Cox. *An introduction to LTE : LTE, LTE-advanced, SAE, and 4G mobile communications*. John Wiley & Sons, 2012. ISBN: 1119943531. URL: https://books.google.com.ec/books/about/An%7B%5C_%7DIntroduction%7B%5C_%7Dto%7B%5C_%7DLTE.html?id=G5C5ii8O%7B%5C_%7Dy0C%7B%5C&%7Dredir%7B%5C_%7Desc=y.

[3] Florin Sandu, Szilard Cserey y Eugen Mile-ciobanu. *Simulation of LTE Signaling*. Inf. téc. 2010. URL: http://www.dasconference.ro/cd2010/data/papers/B118.pdf.

[4] Ramón Agusti y col. *LTE: NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MÓVILES AUTORES*. Inf. téc. 2010. URL: http://www.fundacionvodafone.es/sites/default/files/libro%7B%5C_%7Dlte.pdf.

[5] Gaspar Pedreño López. *Contribución a la Mejora del Control de Flujo en Redes de Acceso Inalámbrico*. Inf. téc. 2015. URL: http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5320/cmc.pdf?sequence=1.

[6] Esa. Metsälä y Juha. Salmelin. *LTE backhaul : planning and optimization*. 2016. ISBN: 9781118924648. URL: https://www.wiley.com/en-us/LTE+Backhaul%7B%5C%%7D3A+Planning+and+Optimization-p-9781118924648.

[7] Eliseo Moreno Galindo. *Metodología de investigación, pautas para hacer Tesis*. URL: http://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/ (visitado 03-03-2018).

[8] Gabriela Morán Delgado y Darío Gerardo Alvarado Cervantes. *Métodos de investigación*. Primera. Pearson Educación, 2010. ISBN: 978-607-442-219-1.

[9] G. Martinez. *Tipos de métodos de investigación*. URL: http://investigaciondemetodos.blogspot.com/2015/04/ (visitado 03-03-2018).

[10] R. Hernández, C. Fernández y M. Baptista. *Metodología de la Investigación*. McGRAW-Hill, 2010. ISBN: 9786071502919.

[11] INET Framework. *INET Framework for OMNET++*. 2016. URL: https://doc.omnetpp.org/inet/api-3.4.0/inet-manual-draft.pdf (visitado 03-03-2018).

[12] José Javier Gil García. *A un clic de las TIC*. URL: https://aunclicdelastic.blogthinkbig.com/voz-sobre-lte-una-mejor-experiencia-empleado-digita/ (visitado 03-03-2018).

[13] L. Luo y C Zhang. *Signal Processing for 5G: Algorithms and Implementations*. ISBN: 978-1-119-11646-2. URL: https://www.wiley.com/en-us/Signal+Processing+for+5G%7B%5C%%7D3A+Algorithms+and+Implementations-p-9781119116462.

[14] S. Bradner y J. McQuaid. *Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices*. Inf. téc. Mar. de 1999. DOI: 10.17487/rfc2544. URL: https://www.rfc-editor.org/info/rfc2544.

[15] Cristian Jesus Pachacama Llumiquinga y Javier Alejandro Avilés Yunda. "Guía para la Evaluación del Rendimiento de una Red de Datos con Tecnología Ethernet". En: (jun. de 2015). URL: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11046.

[16] Arcotel.gob.ec. *Servicio Móvil Avanzado – Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. 2017. URL: http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado/ (visitado 20-08-2019).

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES

Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 23-31 ISSN 2550-6730

Recibido: 12/12/2018
Aceptado: 27/01/2019

Análisis de normas de accesibilidad web en el sitio web de la Facultad de Informática de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí

Tatiana Cobeña, Tatiana Zambrano Solorzano, Félix V. Zambrano Pico Maricela Pinargote Ortega

Universidad Técnica de Manabí
tatiana.cobena@fci.edu.ec,tatyzamso@gmail.com,vicenzampi@gmail.com,maricela.pinargote@fci.edu.ec

RESUMEN
En la actualidad es fundamental que todos los sitios web sean usables y accesibles para que todas las personas, principalmente las que tengan algún tipo de discapacidad o de edad avanzada puedan acceder sin ningún impedimento y limitación. En éste artículo se realizó una revisión bibliográfica de accesibilidad web, normas y estándares aplicados a la información de los contenidos publicados en páginas y aplicaciones web. Una vez obtenido el estado del arte se analizó el sitio web de la Facultad de Informática de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí mediante la herramienta Wave en base a las normas de accesibilidad de la WCGA, tomando en cuenta los principios de accesibilidad web y métricas que evaluaron la usabilidad y accesibilidad. Se interpretaron los resultados en relación a cada uno de los parámetros evaluados y se determinó que el sitio web no cumple en su totalidad con las normas y estándares de la WCGA.
PALABRAS CLAVE: accesibilidad web, interfaces web, evaluación de sitios web, normas de accesibilidad

ABSTRACT
At present it is essential that all websites are usable and accessible so that all people, especially those with some type of disability or elderly can access without any hindrance and limitation. In this article, a bibliographic review of web accessibility, norms and standards applied to the information of the contents published in web pages and applications was made. Once the state of the art was obtained, the website of the Faculty of Computing of the Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí was analyzed using the tool Wave based on WCGA accessibility standards, taking into account the principles of web accessibility. and metrics that evaluated usability and accessibility. The results were interpreted in relation to each of the parameters evaluated and it was determined that the website does not fully comply with the rules and standards of the WCGA
KEYWORDS: web accessibility, web interfaces, evaluation of websites, accessibility standards

1. Introducción

La W3C (World Wide Web Consortium), permite tener la accesibilidad en el ciberespacio, donde la mayoría de personas, tanto las de edad avanzada o las que presenten algún tipo de discapacidad, puedan hacer uso de estos sitios accesibles, entendiendo, navegando, e interactuando en la web [1] Teniendo la accesibilidad web direccionada a personas con diversas capacidades especiales, como cognitivas, neurológicas, así como problemas visuales, auditivos, físicos, también del habla. Por ende, la accesibilidad web

hace factible el uso de sitios web, para que todas las personas puedan tener acceso a encontrar información de manera sencilla y sin limitaciones.
Para cualquier software, sitio web, aplicaciones web, aplicaciones para los teléfonos inteligentes y todas las herramientas que tengan que ver con la web, éstas deben cumplir con las normas y estándares de accesibilidad web, ya que tienen información muy variada y es necesario que en cualquier dispositivo se pueda obtener datos adecuados, precisos y concisos.
El objetivo principal de este trabajo se ha estructurado para realizar el estudio acerca de las normas y estándares de accesibilidad en el Sitio web de la Facultad de Informática de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, analizando los problemas de accesibilidad y las ventajas que se obtienen de ello.

1.1. Accesibilidad Web

Para que un sitio web sea accesible es de gran importancia que los desarrolladores tomen en consideración tanto las normas como los estándares que la WC3 valida, y al momento de elaborar éstos sitios web sean comprensibles y fáciles de usar para todas las personas, ciñendo las de edad avanzada y más las personas que tengan capacidades especiales, por lo que éste tipo de usuarios no tengan limitantes en actividades respecto a la web ni condiciones, por lo que es necesario que los sitio web de manera global sean accesibles.

Los primordiales inconvenientes que se encuentran en un sitio web son:

- Algunas personas tienen inconvenientes para hacer uso del mouse o teclado.
- Ciertas personas tienen dificultad de diferenciar los colores por lo que se debe utilizar acciones con colores específicos.
- Otro de los inconvenientes que se presentan en los sitios web es que se encuentra imágenes que no contienen texto alternativo que represente el contenido, esto ayudaría a las personas con problemas visuales.
- Algunos sitios utilizan lenguajes y terminologías no apropiadas que al lector le resulta difícil comprender el contenido debido a la baja comprensión en la lectura.
- Dentro de los sitios web se encuentra problemas de enlaces debido a que no están correctamente vinculados y direccionados, a la misma vez estos enlaces o contenidos principalmente los videos que son compartidos a los usuarios deberían tener subtítulos e imágenes con texto alternativos para las personas con problemas auditivas o visuales [2].

1.2. Aspectos principales que limitan el acceso y uso a un sitio.

La aplicación de normas y estándares de accesibilidad en los sitios web ayudan a las personas que presenta limitaciones ya que permite que los usuarios hagan una buena utilidad de estos sitios, sin embargo, es necesario mencionar tipos de discapacidades que tienen distintas personas como son:

- *Deficiencia Motriz:* Esta limitante imposibilita al usuario impidiendo interactuar con los dispositivos tradicionales como el uso de ratón, teclado; es necesaria la presencia de otros dispositivos alternos basados en voz.
- *Carencia de visión:* Este aspecto es debido a ceguera, visión reducida, o dificultad en diferenciar los colores, y en este caso es necesario que estas personas accedan usando magnificadores de pantalla, lectores de pantallas o líneas brailles que permitan hacer uso y acceder a los contenidos de los sitios.
- *Deficiencia Auditiva:* es un problema para las personas que presentan deficiencia auditiva debida a que no todos los sitios web no poseen sonido digitales o auditivos, para esto se requiere crear videos que contengan contenidos subtitulados o imágenes textuales para poder ser leídos sin dificultad.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 23-31 ISSN 2550-6730

- *Discapacidad cognitiva y de lengua:* las personas que presentan este tipo de deficiencia dificulta la lectura, el lenguaje, conocimiento, la retentiva; en este caso es necesario elaborar contenidos escritos en lenguaje sencillo con representaciones y animaciones que permitan captar el contenido del sitio [3].

2. Normas de accesibilidad

Examinando el reglamento INEN en el Ecuador, bajo el artículo 65 se indica "Atención prioritaria en portales web. Las instituciones públicas y privadas que prestan servicios públicos, incluirán en sus sitios web, vínculos para el acceso a las personas con discapacidad, de forma que puedan acceder al contenido con una atención especializada y prioritaria, en los términos que establezca el reglamento" [4].
La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN ISO/IEC 40500:2012 es una versión equivalente a la Norma Internacional ISO/IEC 40500:2012 Information technology de la W3C y de la Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. Por lo tanto, el comité comprometido con esta Norma Técnica Ecuatoriana y de la traducción, es el Comité Interno del INEN [5]. La WAI, Iniciativa de Accesibilidad Web es la que ha actualizado las leyes de accesibilidad y políticas, dado que los estándares web son proporcionados por la W3C colectivamente con otras organizaciones para el contenido de los sitios web, desarrollando la WCAG con el objetivo de asentar una sola norma, la cual se adapte a las necesidades de las personas, con la intención de brindar beneficios a los usuarios.
El sitio del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) de Ecuador, incorpora elementos de accesibilidad web para personas con discapacidad, de acuerdo con lo que establece la norma técnica ecuatoriana ÏNEN ISO/IEC 40500 Tecnologías de la Información: Accesibilidad al Contenido Web". El cual presenta en una evaluación automática por medio de la herramienta Examinador, teniendo un puntaje de 9 sobre 10 puntos, por lo tanto, se convierte en el sitio web con mayor grado de accesibilidad en el país, y aprobará continuar con los métodos de capacitación, sensibilización y difusión de la accesibilidad web [6].
La accesibilidad tiene normas, estándares y pautas dirigidas al contenido que se aloja en la web, y las normas de la W3C son mencionadas ya que ofrecen un conjunto de técnicas necesarias para que un sitio web sea confiable, accesible y fácil de usar con la información que provee la web.
Las pautas que la WCAG 2.0 bosqueja son [7]:

- Perceptible
  - Suministrar alternativas de texto en contenido no textual para que sea transformado en otras maneras para la necesidad de las personas como letra grande, braille, voz, símbolos o un lenguaje más sencillo.
  - Proporcionar alternativas para los medios de comunicación basados en el tiempo.
  - Brindar contenidos disponibles en distintas formas como diseño más simple sin perder información o estructura.
- Operable
  - Hacer que las funcionalidades estén disponibles en un teclado.
  - Proporcionar tiempo suficiente para leer y usar el contenido a los usuarios.
  - No diseñe el contenido que provoque convulsiones.
  - Facilitar a los usuarios como ayudar a navegar, encontrar contenido y determinar dónde están.
- Comprensible
  - Los contenidos de texto deben ser legible y comprensible.
  - Los sitios web aparezcan y operen de manera previsible.
  - Asistencia a los interesados a evitar y corregir los errores.
- Robusta
  - Incluir ayudas y maximizar la compatibilidad con agentes de usuario actuales y futuras.

2.1. Métrica y heurística de usabilidad

La métrica es un valor numérico o nominal fijado al atributo de un ente, para un conjunto de datos observables, dado que cuando se refiere al ente o entidad se deduce como un objeto tangible o intangible, el cual está o presenta un comportamiento en el mundo real. Se cuenta con una métrica de usabilidad [8], la cual se utiliza para efectuar la valoración de un sitio web, para esto se aplican 6 aspectos a evaluar que son los siguientes:

1. Usabilidad (20 %)
   En este aspecto de Usabilidad se evalúa la interfaz del sitio, que ésta sea fácil de usar, así los usuarios en general consigan hacer uso de la página web y realizar tareas de manera práctica y eficiente; este aspecto será valorado con una ponderación del 20 %.
2. Accesibilidad (10 %)
   En el apartado de Accesibilidad se considera que el sitio evaluado cumpla con las normas de accesibilidad, de la misma manera que el sitio sea accesible y de calidad para uso de todos los usuarios; este aspecto será ponderado con el 10 %.
3. Funcionalidad (15 %)
   La funcionalidad de un sitio web considera que brinde con las funcionalidades como búsquedas, navegación, exploración; este tiene una valoración del 15 %.
4. Confiablidad (7,5 %)
   En el aspecto de Confiabilidad se hace referencia a la confianza que brinda el sitio web valorado a los usuarios, donde no existan errores, se apliquen estándares y existan vínculos de prestigio; por tanto, esta sección es valorada con un 7,5 %.
5. Eficiencia (7,5 %) El valor de Eficiencia tiene una puntuación de 7,5 %, ya que se evalúa la eficiencia del sitio donde incluye la accesibilidad tiempo y rendimiento del sitio evaluado, como también en donde se puede ayudar con la presencia de herramientas que permitan examinar la accesibilidad web de los sitios virtuales.

De acuerdo a los porcentajes [8] estimados para cada indicador, se plantea el criterio de evaluación a utilizar en la métrica, y con las medidas valoradas del 0-10, como se indica en la Tabla 1 siguiendo la sucesiva escala; tomando como referencia la escala de valoración propuesta por León Ezequiel Welickiy que menciona Solarte Martinez y Ocampos Sepulveda [9] en sus trabajos.

Tabla 1: Escala de Valoración. (Elaborado por Autores)

Calificación	Escala
0-1.9	Muy Bajo
2-3.9	Bajo
4-5.9	Medio
6-7.9	Alto
8-10	Muy Alto

2.2. Beneficios de aplicar los estándares web

El avance tecnológico y desarrollo de aplicaciones web brinda la oportunidad de navegar en sitios web importantes, sin embargo, estas páginas web deben regirse y adaptar las normas y estándares de accesibilidad, esto permitirá que sea factible usar en todos los navegadores, dispositivos móviles.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 23-31 ISSN 2550-6730

Para llevar a cabo el Cumplimiento delas normas y estándares es necesario hacer uso de validadores, la W3C organización internacional se encarga de validar el cumplimiento de las normas, brinda herramientas para identificar los errores que posee el sitio, así mismo, validadores de HTML, de CSS, JavaScript y código que al aplicar estos estándares será más fácil de actualizar y brindar una mejor accesibilidad web en el sitio [10]. La accesibilidad web beneficia a los usuarios en general para el uso rápido y fácil, entendible, que permita incorporar herramientas que adaptables para personas con capacidades especiales, sin ningún tipo de limitación.
En Ecuador existe un alto índice de personas de edad avanzada y de personas con capacidades especiales que navegan en diferentes sitios web, al aplicar las normas y estándares de accesibilidad se logrará que las personas utilicen los sitios adecuadamente.

2.3. Facultad de Ciencias Informáticas de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí

La Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí (ULEAM), es una institución de Educación Superior ubicada en la ciudad de Manta-Ecuador, que fue creado en el año 1985 el 13 de noviembre, con personería jurídica de derechos públicos sin fines de lucro, autónoma, democrática, pluralista, critica y científica [12].
La Facultad de Ciencias Informática inició su proceso de formación como Tecnólogos en Computación Administrativa en el año 1982 en la Escuela de Computación Administrativa adscrita a la Facultad de Ciencias Administrativas. Ante la aparición de las tecnologías y necesidades del contexto, que implica formar profesionales especializados, en el 2001, el 11 de julio se autorizó crear la Facultad de Ciencias Informática y el 13 de Julio del 2011 se aprobó la aplicación del rediseño curricular de la Carrera de Ingeniería en Sistemas [13].
Para conocer más información de la Facultad de Ciencias Informática puede ingresar al siguiente enlace del sitio web: http://carreras.uleam.edu.ec/, donde encontrara una interfaz tal como se muestra en la Figura 1.
Como cabecera de la evaluación se da a conocer la institución evaluada, ruta o dirección URL para acceder al sitio web, conocer los autores que llevan esta auditoría, la fecha en la que se realizó y la calificación obtenida en la valoración del sitio tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Datos de la Institución Evaluada Fuente: http://carreras.uleam.edu.ec/facci (Elaborado por: Autores)

Institución:	*Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí*
Url Carrera	http://carreras.uleam.edu.ec/facci/
Evaluador:	*Tatiana Elizabeth Cobeña Macias*
Fecha:	*24/08/2018*
Nota:	*6,73*

3. Metodología

El estudio es basado en la accesibilidad del sitio Web de la Facultad de Informática de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí. La metodología aplicada utiliza la técnica de la observación que a través

Figura 1: Sitio Web de la Facultad de Informática Fuente: http://carreras.uleam.edu.ec/

de una métrica que permite valorar la accesibilidad, lográndose identificar los factores y errores que poseen estos sitios, lo que nos permite en base a estos estándares aplicar una mejora a los sitios. También se aplicó la metodología de revisión bibliográfica cuyo análisis permite diferenciar los tipos de normas y estándares existentes para a través de esos estudios verificar la aplicación del sitio web.

4. Resultados

En el sitio web de la Facultad de Informática de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, se logra obtener como resultado que no se aplican las normas de accesibilidad, que existen muchos factores que impiden a una persona con discapacidad el uso de estos sitios.
La métrica aplicada permitió realizar este estudio donde reflejaron algunas inconsistencias. Este sitio es auto explicativo, sin embargo, entre los resultados se obtiene que no todas las imágenes y enlaces contienen textos alternativos y que los vínculos no se encuentra redireccionados.
La información brindada en el sitio es navegable y entendible, pero este no ofrece guía o ayuda del sitio, no presenta mapa, índice, cuadro de búsqueda o enlace de preguntas frecuentes tal como se muestra en la Figura 2.
Con la ayuda de la valoración de la herramienta WAVE (Web Acesibility Evaluation Tool), que es una aplicación que permite valorar la accesibilidad de los sitios web, se obtuvo que existe 2 enlaces vacíos tal como se muestra en la Figura 2, lo que significa que este enlace no contiene texto y puede generar confusión al usuario al dar clic, ya que no se direcciona ni le presenta información alguna; esto puede arreglarse eliminando el enlace vacío o proporcionándoles texto al enlace que describa el contenido.
El sitio web analizado permite navegar por medio del menú, imágenes que poseen hipervínculos, acceso a redes sociales, enlaces de interés y barras de desplazamiento vertical y horizontal. Se puede notar que el sitio web de la Facultad de Informática no se encuentra actualizado frecuentemente lo que nos da a pensar que esta página no se le da el mantenimiento diario tal como se muestra en la Figura 3. Entre esas inconsistencias que se detectaron en el sitio web valorado es que en la página principal hay elementos que no da respuesta alguna por tener 2 enlaces falsos.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 23-31 ISSN 2550-6730

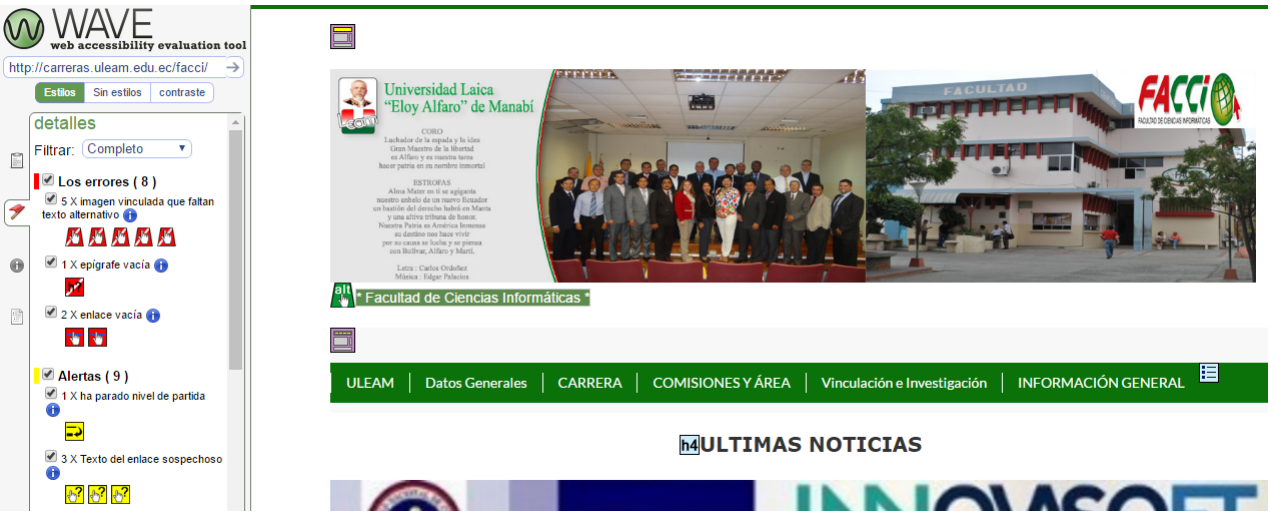

Figura 2: Evaluación del Sitio WEb con Wave. Fuente: http://wave.webaim.org/report/http://carreras.uleam.edu.ec/facci/

Una de las partes positivas del sitio es que este no tiene contenidos indebidos, ni espacios publicitarios y mucho menos ventanas emergentes, esto brinda más confianza al navegar en el sitio y a la vez ayuda a que el usuario no se distraiga.
Como contenidos de la Facultad de Informática publicados en el sitio se puede encontramos enlaces con fines de la carrera, como la reseña histórica en donde podrán conocer como ha venido funcionando y creciendo esta institución de gran prestigio. Además cual es la misión y visión de la carrera, la malla curricular, reglamentos, organigrama, el campo ocupacional del egresado entre otras informaciones de importancia para los estudiantes.

4.1. Detalle de la evaluación

En la Tabla 3 se presenta los datos obtenidos con relación a cada uno de los parámetros evaluados, teniendo como valoración final una calificación de 6,73 de calidad del sitio.

Tabla 3: Datos de la Institución Evaluada Fuente: http://carreras.uleam.edu.ec/facci (Elaborado por: Autores)

Aspecto	Valor obtenido	Porcentaje	Puntuación Final
Usabilidad	7,39	20%	1,48
Accesibilidad	4,08	10%	0,41
Funcionalidad	4,60	15%	0,69
Contenidos	7,3	40%	2,92
Confiabilidad	8	7,5%	0,60
Eficiencia	8,4	7,5%	0,63
Total		100%	6,73

Figura 3: Ultimas Noticias publicadas en el sitio web de la FACCI. Fuente: http://carreras.uleam.edu.ec/facci/

5. Conclusiones

Se analizó el sitio web de la Facultad de Informática de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" con la herramienta WAVE, en base a las normas WCGA de usabilidad y accesibilidad web, tomando en cuenta los principios de accesibilidad: Perceptible, operable, comprensible, robusta, las métricas de usabilidad y accesibilidad: Usabilidad, accesibilidad, funcionalidad, contenidos, confiabilidad, eficiencia, y un conjunto de pautas y criterios. Misma que permitió identificar factores y errores en la estructura de la página, en los vínculos, en los elementos textuales de objetos, tablas, imágenes, entre otros.
En base al análisis de normas de accesibilidad web con la herramienta WAVE se determinó que se genera inconsistencias de usabilidad y accesibilidad en el portal web y que no se cumple en su totalidad con las normas y estándares de la WCGA.
Se recomienda en base al análisis de normas de accesibilidad web realizado aplicar correctivos y ejecutar otras normas de accesibilidad en el sitio web de la Facultad de Informática de la Universidad Laica "Eloy Alfaro".

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 23-31 ISSN 2550-6730

Referencias

[1] *Introducción a la Accesibilidad Web.* URL: https://www.w3c.es/Traducciones/es/WAI/intro/accessibility (visitado 30-04-2018).

[2] Jairo Armando Riaño Herrera y Javier Antonio Ballesteros Ricaurte. "Aspectos y normas de accesibilidad web". En: *Ingenierías USBmed* 5.2 (21 de dic. de 2014), pág. 26. ISSN: 2027-5846. DOI: 10.21500/20275846.308.

[3] Maricela Pinargote Ortega, Marely del Rosario Cruz Felipe y Gabriel Demera Ureta. "Propuesta de Sitio Web Accesible para Personas con Discapacidad Visual". En: *KnE Engineering* 3.1 (11 de feb. de 2018), págs. 883-892. ISSN: 2518-6841. DOI: 10.18502/keg.v3i1.1509.

[4] *Resoluciones 16 008. Apruébese y oficialícese con el carácter de obligatorio el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 Áccesibilidad para el contenido WEB'.* vLex. URL: https://vlex.ec/vid/apruebese-oficialicese-caracter-obligatorio-595125118 (visitado 04-03-2018).

[5] *NTE INEN-ISO/IEC 40500 - Ministerio de Defensa Nacional.* studylib.es. URL: https://studylib.es/doc/7209273/nte-inen-iso-iec-40500---ministerio-de-defensa-nacional (visitado 06-03-2018).

[6] Conadis. *Accesibilidad Web en Ecuador: Nuevo Sitio web accesible del CONADIS.* Accesibilidad Web en Ecuador. 2 de jun. de 2017. URL: http://accesibilidadwebecuador.blogspot.com/2017/06/nuevo-sitio-web-accesible-del-conadis.html (visitado 06-03-2018).

[7] *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0.* URL: https://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/ (visitado 04-06-2018).

[8] Juan Manuel Cueva Lovelle y León Ezequiel Welicki. "Ingeniería y Servicios Web". Tesis doct. 2003.

[9] Guillermo Roberto Solarte Martinez y Carlos Alberto Ocampo Sepulveda. "Usabilidad en espacio web". En: *Scientia Et Technica* XVI.45 (2010). ISSN: 0122-1701.

[10] *Qué es la ULEAM – UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO"DE MANABI -ULEAM.* URL: http://www.uleam.edu.ec/que-es-la-uleam/ (visitado 05-06-2018).

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES

Recibido: 05/12/2018
Aceptado: 27/01/2019

Ejecución automática de pruebas en entornos empresariales de producción de sotware

Danay Larrosa Uribazo [1] Sandra Verona Marcos [1] Perla Fernández Oliva [1] Martha Dunia Delgado Dapena [1]

[1]Facultad de Ingeniería Informática de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba 19390.
dlarrosa@ceis.cujae.edu.cu, sverona@ceis.cujae.edu.cu perla@ceis.cujae.edu.cu marta@ceis.cujae.edu.cu

RESUMEN
Este trabajo presenta un conjunto de buenas prácticas para introducir en las organizaciones de desarrollo de software la ejecución automática de pruebas. Se persigue como objetivo la integración de las pruebas con el entorno de trabajo para alcanzar niveles superiores de cobertura y asistir a los desarrolladores y probadores en el diseño y ejecución de los casos de prueba.
La propuesta contempla entornos de integración continua de aplicaciones, con modelos para la generación y ejecución automática de casos de prueba. Se hace un análisis de las propuestas existentes en este ámibito, sus contribuciones y limitaciones fundamentales; como punto de partida para la presentación del modelo para la ejecución automática de pruebas de software.
El modelo Mtest.search contiene procedimientos y métodos para la generación y ejecución de casos de pruebas insertados en un entorno de integración continua dentro del propio proceso de desarrollo de aplicaciones. Esta propuesta puede ser adecuada a las condiciones específicas de cada empresa según su propia plataforma de desarrollo.
Se exponen las experiencias de aplicación del modelo en un entorno de desarrollo universitario
PALABRAS CLAVES: ejecución automática de pruebas, generación automática de casos de prueba, integración continua.

ABSTRACT
This paper presents a set of good practices for introducing automatic test execution in software development organizations. The objective is to integrate the tests with the work environment to reach higher levels of coverage and to assist the developers and testers in the design and execution of the test cases.
The proposal contemplates environments of continuous integration of applications, with models for the automatic generation and execution of test cases. An analysis is made of the existing proposals in this area, their fundamental contributions and limitations; as a starting point for the presentation of the model for the automatic execution of software tests.
The Mtest.search model contains procedures and methods for generating and executing test cases inserted in a seamless integration environment within the application development process itself. This proposal can be adapted to the specific conditions of each company according to its own development platform.
The experiences of application of the model in an environment of university development are exposed.
KEYWORDS: automatic execution of test, automatic generation of test cases, continuous integration.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 32-44 ISSN 2550-6730

1. Introducción

Con el aumento de la complejidad en el desarrollo de los sistemas informáticos, las exigencias en tiempo y calidad de los clientes y la dispersión de tecnologías y métodos empleados en los procesos de desarrollo de software actuales, las investigaciones acerca del proceso de prueba y su efectividad cobran especial significación [1]. Son múltiples las investigaciones y propuestas dirigidas a mejorar la calidad de los procesos y productos vinculados con la industria de software.
En el caso particular de las pruebas los trabajos se concentran en tres grupos de propuestas: en el primero están las dirigidas a la gestión de los procesos de pruebas, su entorno de integración continua basado en software libre para el desarrollo de aplicaciones Java, mejora y vinculación con el proceso de desarrollo [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11], en el segundo las enfocadas en la ejecución automática de los diferentes tipos de pruebas [12] [13] [14] y en el tercero las que se centran en asistir la actividad del diseño de las pruebas [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [9] [33] [34].
Relacionadas con el primer grupo se pueden encontrar soluciones de integración continua de aplicaciones que incorporan al proceso de desarrollo las pruebas, como un elemento indispensable para conseguir un desarrollo de aplicaciones de calidad. También se abordan soluciones de frameworks y herramientas que abordan la gestión de procesos de pruebas tercerizadas o ejecutados por equipos no comprometidos con el desarrollo.
Respecto al segundo grupo existen diferentes herramientas como JUnit [13], NUnit [14] y PHPUnit [12] que permiten ejecutar pruebas unitarias de forma automática, pero carecen de funcionalidades que asistan al desarrollador en el diseño de los casos de pruebas. Ello se debe a que, a pesar de que estas herramientas crean automáticamente una clase de prueba con un método de prueba vacío, el desarrollador debe llenar el método de prueba y crear el resto de los métodos que necesite. Ante esta problemática los programadores optan por hacer pruebas unitarias de forma empírica, sin tener en cuenta todos los posibles caminos de prueba.
Por último, en el caso del diseño de las pruebas, las propuestas van desde la utilización de algoritmos de optimización e inteligencia artificial para resolver el problema de la explosión combinatoria en la generación de casos de pruebas, hasta propuestas de frameworks para la automatización de algunos elementos del proceso. En este último caso las propuestas son prototipos para validar la solución teórica, pero no se han incorporado a las soluciones comerciales los elementos de generación de los casos de prueba, de forma tal que puedan ser utilizados por desarrolladores y equipos de probadores, reduciendo así el esfuerzo vinculado con esta actividad de diseño que es altamente costosa. Para abordar soluciones de este tipo es necesario integrar los tres grupos de trabajos que aparecen en la bibliografía en entornos de trabajo, es decir hacer propuestas a las empresas que integren los entornos de integración continua con herramientas de generación de casos de pruebas y herramientas de ejecución automática de pruebas, todo encaminado a detectar defectos de forma temprana.
Este artículo presenta una propuesta para hacer posible esta integración a través de un conjunto de buenas prácticas que pueden permitir a la empresa incorporar a su proceso de desarrollo técnicas y herramientas de integración continua soportadas en generación y ejecución automáticas de pruebas.

2. Materiales y Métodos

Un entorno de ejecución automática de pruebas tiene tres componentes: el entorno de integración continua de aplicaciones, las herramientas de generación automática de casos de prueba y las herramientas de ejecución automática de pruebas.
Un entorno de Integración Continua (IC) es la integración de varias herramientas, donde cada una cumple un papel importante en algunas etapas del desarrollo de software (Prueba, Implementación, Despliegue) con un enfoque en esta práctica. Actualmente se pueden encontrar muchas herramientas para desplegar un entorno de IC, cada una con sus particularidades, pero principalmente se dividen en: software propietario o privado y software libre o de código abierto [35].

Un entorno de IC debe poseer un servidor correspondiente a un Sistema de Control de Versiones (SCV) para controlar las modificaciones en el proyecto en todo momento y asegurar copias constantes del desarrollo con el objetivo de retroceder a la última copia de seguridad en caso de cometer un error grave en el software. Además, con un control de versiones, el servidor de IC se informa de cuándo ha de actuar si detecta algún cambio en el proyecto. Para usar IC, aunque no es imprescindible utilizar un servidor de IC, sí es muy recomendable, debido a que es el encargado de automatizar las tareas del proyecto entre otras funcionalidades [36].
Los entornos de IC se configuran y despliegan de acuerdo a las necesidades de cada grupo de desarrollo y sus objetivos. En el mundo pueden encontrarse variedad de ellos, pero el problema radica en que se hace difícil y complejo encontrar o realizar un procedimiento estándar para configurar y seleccionar las herramientas convenientes para los grupos de desarrollo. En la Figura 1 se muestra el ciclo del proceso de IC.

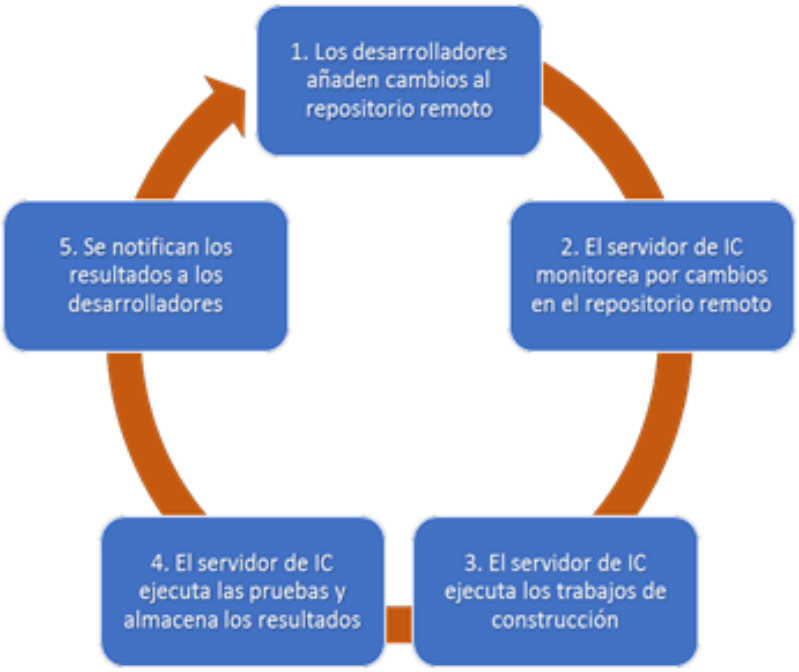

Figura 1: Proceso de Integración Continua.

El tercer componente relacionado con las herramientas de ejecución automática de pruebas está también condicionado por el entorno de desarrollo de la empresa. En el mercado están disponibles herramientas comerciales con este fin, algunas de ellas propietarias y otras no lo son, como, por ejemplo: JUnit, NUnit y PHPUnit. Es necesario que la empresa evalúe cuál de ellas se ajusta mejor a su presupuesto y políticas de negocio.
El segundo componente requiere una evaluación de las soluciones existentes para la generación automática de casos de pruebas, teniendo en cuenta que la selección debe considerar la integración con el resto de los componentes del modelo. En este artículo se presenta una propuesta específica, el modelo MTest.search.
Mtest.search consta de Flujos de Trabajo para la generación de pruebas tempranas en el entorno de producción, Modelos de Optimización para reducción de casos de pruebas funcionales y unitarias, y Herramientas Automatizadas Integradas que le dan soporte. Las recomendaciones del modelo son:

1. Contar con una estructura en el proyecto con al menos dos personas que desempeñen las funciones del ingeniero de prueba que de conjunto con clientes y/o desarrolladores realicen el diseño de

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 32-44 ISSN 2550-6730

las pruebas y definan cuáles son los perfiles de prueba para cada proyecto. Además, quienes desempeñen este rol deben encargarse de mantener la implementación de las pruebas automáticas si fuera necesario.

2. Insertar las herramientas de generación y ejecución automática de pruebas en el entorno de integración continua de forma que se garantice la calidad de las nuevas soluciones implementadas antes de integrarlas con la solución ya existente.
3. Establecer relación entre el funcionamiento de las herramientas comerciales de ejecución de pruebas (aplicación cliente) y las herramientas para la generación de los casos de prueba (componente). En este sentido se propone dar tratamiento diferenciado a las pruebas unitarias y a las pruebas funcionales, teniendo en cuenta su propia naturaleza.

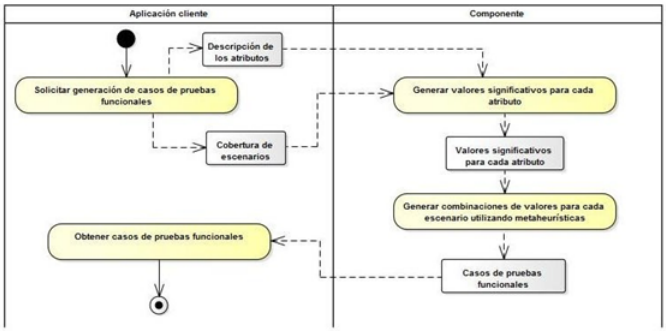

Figura 2: Secuencia de actividades para la generación de casos de pruebas funcionales y su inserción en el entorno productivo.

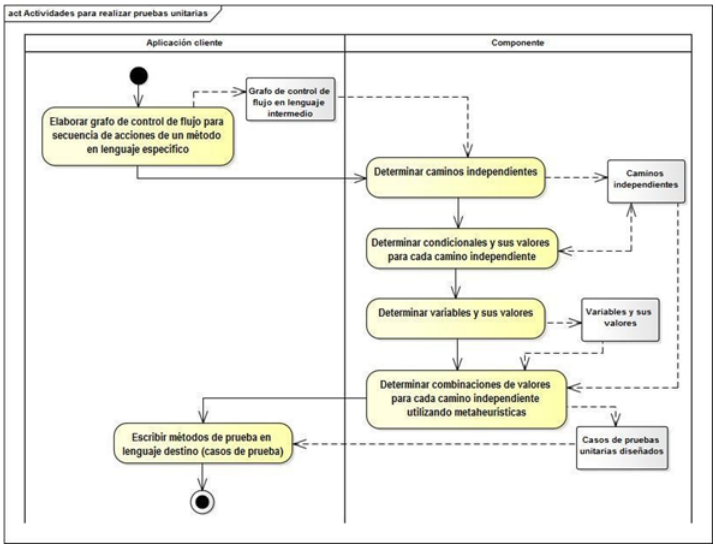

Figura 3: Secuencia de actividades para la generación de casos de pruebas unitarias y su inserción en el entorno productivo.

Para las pruebas funcionales es necesario desarrollar aplicaciones clientes que se integren con el entorno de gestión del proyecto y de gestión de pruebas funcionales que utiliza la empresa. Estas aplicaciones deben obtener la información de la funcionalidad que se pretende probar y una vez generados los escenarios y sus casos de prueba los inserten en el entorno de pruebas funcionales.

Para el caso de las pruebas unitarias, deben implementarse aplicaciones clientes, al estilo de plug-in insertados en los IDE de desarrollo, que obtengan el grafo de control de flujo (GCF) a partir del código en lenguaje fuente y que después de generados los casos de prueba (CP) los transformen en código fuente de la herramienta de ejecución automática de pruebas unitarias seleccionada.

En las Figuras 2 y 3 se muestran las actividades que han sido implementadas en el componente y las actividades que deben ser implementadas por las aplicaciones clientes en cada caso.

3. Resultados y Discusión

Las herramientas utilizadas en el entorno de IC propuesto fueron como Herramienta de Control de versiones o versionado Git y como Servidor de Integración Continua Jenkins. Se utilizó el IDE Netbeans en el entorno propuesto porque puede ser integrado fácilmente a servidores de IC como por ejemplo Hudson y Jenkins.
La Figura 4 muestra cómo se añade una instancia de un servidor Hudson - que funciona igual para Jenkins - para ser utilizado desde el IDE sin necesidad de obtener los reportes desde un navegador web.

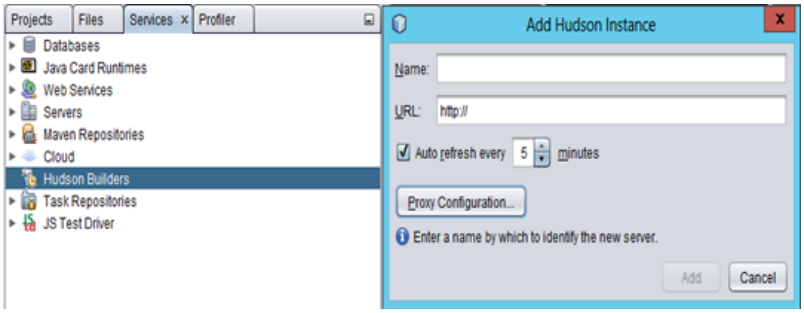

Figura 4: Agregar instancia de servidor Hudson a Netbeans IDE.

Muchos sistemas de control de versiones también pueden ser integrados a Netbeans, entre ellos Git, Mercurial, Subversion, todos a través de plug-ins que se le adicionan al IDE y luego se configuran en las opciones que contiene Netbeans.
En la Figura 5 se muestran algunos de los SCV que pueden ser utilizados desde Netbeans y específicamente Git.

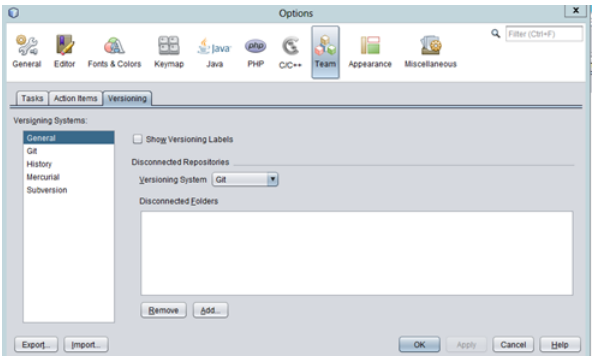

Figura 5: Configurar Sistema de Control de versiones en Netbeans IDE.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 32-44 ISSN 2550-6730

Para medir la calidad de código en el proyecto se proponen utilizar dos herramientas fundamentales que, aunque en el servidor funcionan independientemente como reportes también se pueden integrar entre ellas. Para medir cuánto código cubre una prueba unitaria se utiliza Jacoco, un plug-in que se adiciona al servidor Jenkins que a través de tareas Ant, automatizan el proceso de cobertura de código y muestran los reportes una vez terminado el trabajo de construcción. En la Figura 6 se muestra un ejemplo del código de las tareas Ant para realizar la cobertura de código a pruebas unitarias junto a JUnit.

```
<mkdir dir="${test.dir}/reports"/>
    <taskdef uri="antlib:org.jacoco.ant" resource="org/jacoco/ant/antlib.xml">
        <classpath path="${lib.dir}/jacocoant.jar" />
    </taskdef>
<jacoco:coverage destfile="${build.dir}/jacoco.exec" >
    <junit fork="yes" printsummary="yes" haltonfailure="yes">
        <classpath>
            <pathelement location="${lib.dir}/junit-4.10.jar" />
            <pathelement location="${lib.dir}/hamcrest-core-1.3.rc2.jar"/>
            <path location="{classes.dir}"/>
            <path location="${classes.dir}"/>
            <pathelement location="${lib.dir}/jacocoant.jar" />
        </classpath>
    <formatter type="xml"/>
        <batchtest fork="yes" todir="${test.dir}/reports">
            <fileset dir="${test.dir}">
                <include name="**/*Test.java"/>
            </fileset>
        </batchtest>
    </junit>
</jacoco:coverage>
</target>

<target name="jacoco-report" depends="compile-tests">
    <jacoco:report>
        <executiondata>
            <file file="${build.dir}/jacoco.exec"/>
        </executiondata>
        <structure name="JaCoCo report">
            <classfiles>
                <fileset dir="${build.dir}"/>
            </classfiles>
        <sourcefiles encoding="UTF-8">
            <fileset dir="${src.dir}"/>
        </sourcefiles>
        </structure>
        <html destdir="${jacoco.report.dir}/reports"/>
        <csv destfile="${jacoco.report.dir}/reports/report.csv"/>
        <xml destfile="${jacoco.report.dir}/reports/report.xml"/>
    </jacoco:report>
```

Figura 6: Fichero .xml que contiene las tareas Ant para realizar cobertura de código.

La otra herramienta que se utiliza es SonarQube (Antes Sonar), encargada de la gestión de calidad del código. Su principal objetivo es visualizar las medidas de calidad de los proyectos, recogidas durante el análisis estático del código y la ejecución de pruebas unitarias, de integración y de sistema automatizadas [37]. Sonar se integra fácilmente con el servidor de IC Jenkins a través de un plug-in, además, es necesario tener en ejecución el Sonar-runner para analizar los proyectos sin Maven utilizando SonarQube. SonarQube es una plataforma de código abierto que permite cubrir los aspectos relacionados con la calidad de código. La Figura 7 muestra la configuración de SonarQube en el trabajo de construcción.

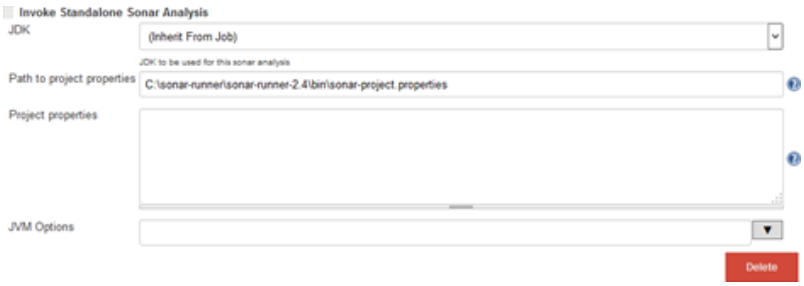

Figura 7: Utilización de Sonar en el trabajo de construcción.

Con las herramientas antes mencionadas se realiza una revisión estática del código, pero respecto a las pruebas unitarias el diseño de los casos de pruebas sigue quedando en manos de los desarrolladores. Para resolver esta situación se desarrolló un plug-in para la generación de pruebas unitarias en lenguaje Java que permite automatizar el diseño de los casos de prueba, contribuyendo a disminuir considerablemente el tiempo y esfuerzo dedicado a la realización de pruebas unitarias en los equipos de desarrollo.
En la Figuras 8 y 9 se puede observar el grafo de control de flujo generado por la herramienta del método seleccionado. Para ello, solo es necesario seleccionar el método y dar clic en el botón de la aplicación "Generar GCF".

Figura 8: Vértices del GCF generado.

Figura 9: Arcos del GCF generado.

Es necesario especificar la descripción del dominio de los parámetros de entrada y la variable de control de cada ciclo, en caso de existir. Una vez hechas las especificaciones necesarias y generado el grafo de control de flujo, se pueden generar los casos de pruebas, con solo seleccionar el submenú "Obtener casos de prueba" que se encuentra en la pantalla principal del plug-in. En la Figura 10 se pueden observar los casos de prueba generados, para los cuales es necesario especificar el resultado esperado como se muestra en la figura.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 32-44 ISSN 2550-6730

Casos de prueba

Caminos independientes:

Caminos/Co...	n==0	n==1	n==m	i<=n	fibonacci==m
C1	T	-	T	-	-
C2	T	-	F	-	-
C3	F	T	T	-	-
C4	F	F	-	T	-
C5	F	F	-	F	T
C6	F	F	-	F	F

Casos de prueba:

Caminos/Variables	n	m	Valor esperado
1	0	0	0 es el numero fibonacci de 0.
2	0	1	1 no es el numero fibonacci de 0.
3	1	1	1 es el numero fibonacci de 1.
4	11	6	6 no es el numero fibonacci de 11.
5	-1	-1	-1 no es un valor valido en la serie de fibonacci.
6	-1	0	-1 no es un valor valido en la serie de fibonacci.

Aceptar

Figura 10: Casos de prueba generados.

Luego, se puede generar el código de pruebas con solo seleccionar el submenú “Crear clase de prueba de JUnit” que se encuentra en la pantalla principal del plug-in. En la Figura 11 se puede observar la clase de prueba, la cual se crea en el proyecto bajo prueba.

```
TestEjemploCNC.java
3  import org.junit.Assert;
4  import org.junit.Test;
5  import ejemploCNC.EjemploCNC;
6
7  public class TestEjemploCNC {
8      //Este método de prueba hace referencia al camino C1: n==0, T -> n==1, - -> n
9      @Test
10     public void test_fibonacci_CP1() {
11         EjemploCNC ejemploCNC = new EjemploCNC();
12         String expected = "0 es el numero fibonnaci de 0.";
13         Assert.assertEquals(expected, ejemploCNC.fibonacci(0, 0));
14     }
15     //Este método de prueba hace referencia al camino C2: n==0, T -> n==1, - -> n
16     @Test
17     public void test_fibonacci_CP2() {
18         EjemploCNC ejemploCNC = new EjemploCNC();
19         String expected = "1 no es el numero fibonacci de 0.";
20         Assert.assertEquals(expected, ejemploCNC.fibonacci(0, 1));
21     }
22     //Este método de prueba hace referencia al camino C3: n==0, F -> n==1, T -> n
23     @Test
24     public void test_fibonacci_CP3() {
25         EjemploCNC ejemploCNC = new EjemploCNC();
26         String expected = "1 es el numero fibonacci de 1.";
27         Assert.assertEquals(expected, ejemploCNC.fibonacci(1, 1));
28     }
29     //Este método de prueba hace referencia al camino C4: n==0, F -> n==1, F -> n
31     public void test_fibonacci_CP4() {
36     //Este método de prueba hace referencia al camino C5: n==0, F -> n==1, F -> n
37     @Test
38     public void test_fibonacci_CP5() {
39         EjemploCNC ejemploCNC = new EjemploCNC();
40         String expected = "-1 no es un valor valido para la serie de fibonacci.";
41         Assert.assertEquals(expected, ejemploCNC.fibonacci(-1, -1));
42     }
43     //Este método de prueba hace referencia al camino C6: n==0, F -> n==1, F -> n
45     public void test_fibonacci_CP6() {
50 }
```

Figura 11: Código de prueba generado.

Finalmente, se puede utilizar la herramienta JUnit que proporciona el propio Eclipse para ejecutar el código de pruebas generado (ver Figura 12).

```
JUnit
Finished after 0.049 seconds
Runs: 6/6   Errors: 0   Failures: 2
pruebas_unitarias.TestEjemploCNC [Runner: JUnit 4] (0.001 s)
    test_fibonacci_CP1 (0.001 s)
    test_fibonacci_CP2 (0.000 s)
    test_fibonacci_CP3 (0.000 s)
    test_fibonacci_CP4 (0.000 s)
    test_fibonacci_CP5 (0.000 s)
    test_fibonacci_CP6 (0.000 s)
Failure Trace
org.junit.ComparisonFailure: expected:<-1 [no es un valor valido para la serie de fibonacci].> but was:<-1 [es el numero fibonacci de -1].>
at pruebas_unitarias.TestEjemploCNC.test_fibonacci_CP5(TestEjemploCNC.java:41)
```

Figura 12: Ejecución del código de prueba generado con la herramienta JUnit.

Para las pruebas funcionales se diseñó un caso de estudio basado en una aplicación real, de la cual se extrajeron 6 funcionalidades que como promedio tienen 3 atributos cada una. Las variables incluidas cubren los tipos de datos: cadena, numérico, enumerado, lógico y fecha.
La Figura 13 muestra el gráfico con el resultado de las ejecuciones del modelo para las seis funcionalidades en correspondencia con el 120 %, 100 % y 80 % de cobertura de escenarios. A partir del análisis de los resultados se pudo comprobar que:

- Se garantiza cubrir los porcentajes de cobertura de los escenarios indicados en cada caso.
- Se generan cantidad de combinaciones de valores mínimas, en los casos de porcentajes de cobertura de hasta 100 %, en particular se genera una única combinación para cada escenario.
- Para los porcentajes de cobertura superiores a 100 % se generan combinaciones que satisfacen un mismo escenario, pero ningún escenario queda sin al menos una combinación de valores.

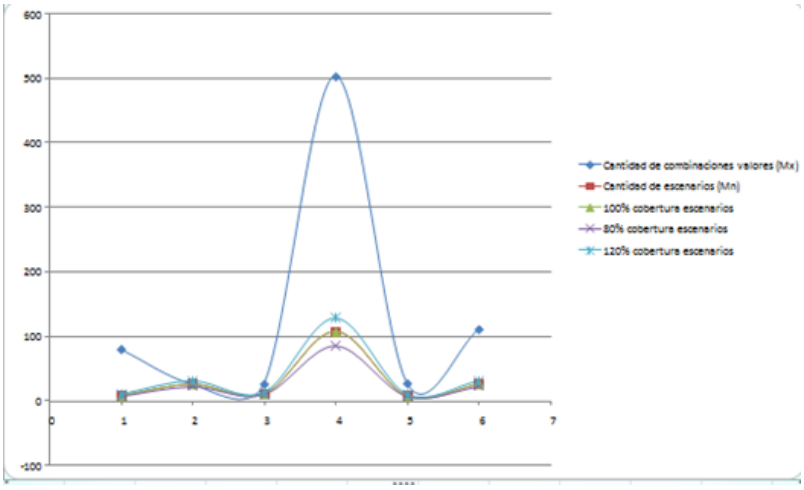

Figura 13: Gráfico de dispersión de generación de combinaciones de valores para diferentes funcionalidades.

4. Conclusiones

El presente trabajo facilita el proceso de pruebas durante el desarrollo de productos de software, debido a que integra la generación y ejecución automática de pruebas en un entorno de desarrollo de aplicaciones mediante la utilización de la práctica de integración continua. Además, permite reducir el tiempo y esfuerzo dedicado por los probadores y diseñadores de casos de prueba en el diseño y ejecución de pruebas. Se recomiendan un grupo de buenas prácticas encaminadas a introducir las pruebas en los entornos productivos como elemento de control de calidad de las aplicaciones desarrolladas en la empresa.

Referencias

[1] GJ Myers, C Sandler y T Badgett. *The art of software testing.* 3rd. New Jersey, 2011. ISBN: 978-1-118-03196-4.

[2] Ting Chen y col. "State of the art: Dynamic symbolic execution for automated test generation". En: *Future Generation Computer Systems* 29.7 (sep. de 2013), págs. 1758-1773. ISSN: 0167739X. DOI: 10.1016/j.future.2012.02.006. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X12000398.

[3] Frank Elberzhager y col. "Reducing test effort: A systematic mapping study on existing approaches". En: *Information and Software Technology* 54.10 (oct. de 2012), págs. 1092-1106. ISSN: 09505849. DOI: 10.1016/j.infsof.2012.04.007. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950584912000894.

[4] A.M. Memon, M.E. Pollack y M.L. Soffa. "Hierarchical GUI test case generation using automated planning". En: *IEEE Transactions on Software Engineering* 27.2 (2001), págs. 144-155. ISSN: 00985589. DOI: 10.1109/32.908959. URL: http://ieeexplore.ieee.org/document/908959/.

[5] L. Morales. "Componente de generación automática de valores de pruebas". Tesis doct. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, 2012.

[6] A. Moreira. "Entorno de integración continua basado en software libre para el desarrollo de aplicaciones Java". Tesis doct. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", 2016.

[7] Beatriz Lamancha Pérez y Macario Polo. "Generación automática de casos de prueba para Líneas de Producto de Software Automatic test case generation for software product lines". En: *Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software* 5.2 (2009). ISSN: 1885-4486. URL: http://www.redalyc.org/pdf/922/92217153004.pdf.

[8] Tang Rongfa. "Adaptive Software Test Management System Based on Software Agents". En: 2012, págs. 1-9. DOI: 10.1007/978-3-642-25437-6_1. URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-25437-6%7B%5C_%7D1.

[9] Soma Sekhara Babu Lam y col. "Automated Generation of Independent Paths and Test Suite Optimization Using Artificial Bee Colony". En: *Procedia Engineering* 30 (2012), págs. 191-200. ISSN: 18777058. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.01.851. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705812008612.

[10] Ying XING y col. "Intelligent test case generation based on branch and bound". En: *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications* 21.2 (abr. de 2014), págs. 91-103. ISSN: 10058885. DOI: 10.1016/S1005-8885(14)60291-0. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1005888514602910.

[11] Zhiqiang Zhang y col. "Generating combinatorial test suite using combinatorial optimization". En: *Journal of Systems and Software* 98 (dic. de 2014), págs. 191-207. ISSN: 01641212. DOI: 10.1016/j.jss.2014.09.001. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121214001939.

[12] S Bergmann. *Sitio oficial de PHPUnit*. 2015. URL: http://phpunit.de/ (visitado 15-10-2015).

[13] JUnit. *JUnit 5*. URL: https://junit.org/junit5/ (visitado 09-10-2015).

[14] NUnit. *NUnit.org*. URL: http://nunit.org/ (visitado 09-10-2015).

[15] Bestoun S. Ahmed y Kamal Z. Zamli. "Comparison of metahuristic test generation strategies based on interaction elements coverage criterion". En: *2011 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications*. IEEE, sep. de 2011, págs. 550-554. ISBN: 978-1-4577-1417-7. DOI: 10.1109/ISIEA.2011.6108773. URL: http://ieeexplore.ieee.org/document/6108773/.

[16] Saswat Anand y col. "An orchestrated survey of methodologies for automated software test case generation". En: *Journal of Systems and Software* 86.8 (ago. de 2013), págs. 1978-2001. ISSN: 01641212. DOI: 10.1016/j.jss.2013.02.061. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121213000563.

[17] Fabrice Bouquet y col. "A test generation solution to automate software testing". En: *Proceedings of the 3rd international workshop on Automation of software test - AST '08*. New York, New York, USA: ACM Press, 2008, pág. 45. ISBN: 9781605580302. DOI: 10.1145/1370042.1370052. URL: http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1370042.1370052.

[18] José Carlos Bregieiro Ribeiro. "Search-based test case generation for object-oriented java software using strongly-typed genetic programming". En: *Proceedings of the 2008 GECCO conference companion on Genetic and evolutionary computation - GECCO '08*. New York, New York, USA: ACM Press, 2008, pág. 1819. ISBN: 9781605581316. DOI: 10.1145/1388969.1388979. URL: http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1388969.1388979.

[19] Gustavo Carvalho y col. "NAT2TESTSCR: Test case generation from natural language requirements based on SCR specifications". En: *Science of Computer Programming* 95 (dic. de 2014), págs. 275-297. ISSN: 01676423. DOI: 10.1016/j.scico.2014.06.007. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167642314002858.

[20] Eugenia Díaz y col. "A tabu search algorithm for structural software testing". En: *Computers & Operations Research* 35.10 (oct. de 2008), págs. 3052-3072. ISSN: 03050548. DOI: 10.1016/j.cor.2007.01.009. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305054807000214.

[21] Roger Ferguson y Bogdan Korel. "The chaining approach for software test data generation". En: *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology* 5.1 (ene. de 1996), págs. 63-86. ISSN: 1049331X. DOI: 10.1145/226155.226158. URL: http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=226155.226158.

[22] Mark Harman. "Automated Test Data Generation using Search Based Software Engineering". En: *Second International Workshop on Automation of Software Test (AST '07)*. IEEE, mayo de 2007, págs. 2-2. ISBN: 978-1-5090-8886-7. DOI: 10.1109/AST.2007.4. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/4296713/.

[23] Mark Harman, S. Afshin Mansouri y Yuanyuan Zhang. "Search-based software engineering: Trends, techniques and applications". En: *ACM Computing Surveys* 45.1 (nov. de 2012), págs. 1-61. ISSN: 03600300. DOI: 10.1145/2379776.2379787. URL: http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2379776.2379787.

[24] I. Hermadi, C. Lokan y R. Sarker. "Dynamic stopping criteria for search-based test data generation for path testing". En: *Information and Software Technology* 56.4 (abr. de 2014), págs. 395-407. ISSN: 09505849. DOI: 10.1016/j.infsof.2014.01.001. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950584914000123.

[25] Muhammad Zohaib Iqbal, Andrea Arcuri y Lionel Briand. "Empirical investigation of search algorithms for environment model-based testing of real-time embedded software". En: *Proceedings of the 2012 International Symposium on Software Testing and Analysis - ISSTA 2012*. New York, New York, USA: ACM Press, 2012, pág. 199. ISBN: 9781450314541. DOI: 10.1145/2338965.2336777. URL: http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2338965.2336777.

[26] Laura Lanzarini, Juan Pablo y La Battaglia. "Dynamic Generation of Test Cases with Metaheuristics". En: *Optimization* 10.2 (2010), págs. 91-96.

[27] C.C. Michael, G. McGraw y M.A. Schatz. "Generating software test data by evolution". En: *IEEE Transactions on Software Engineering* 27.12 (2001), págs. 1085-1110. ISSN: 00985589. DOI: 10.1109/32.988709. URL: http://ieeexplore.ieee.org/document/988709/.

[28] Ankur Pachauri y Gursaran Srivastava. "Automated test data generation for branch testing using genetic algorithm: An improved approach using branch ordering, memory and elitism". En: *Journal of Systems and Software* 86.5 (mayo de 2013), págs. 1191-1208. ISSN: 01641212. DOI: 10.1016/j.jss.2012.11.045. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121212003263.

[29] Roy P. Pargas, Mary Jean Harrold y Robert R. Peck. "Test-data generation using genetic algorithms". En: *Software Testing, Verification and Reliability* 9.4 (dic. de 1999), págs. 263-282. ISSN: 0960-0833. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1689(199912)9:4<263::AID-STVR190>3.0.CO;2-Y. URL: http://doi.wiley.com/10.1002/%7B%5C%%7D28SICI%7B%5C%%7D291099-1689%7B%5C%%7D28199912%7B%5C%%7D299%7B%5C%%7D3A4%7B%5C%%7D3C263%7B%5C%%7D3A%7B%5C%%7D3AAID-STVR190%7B%5C%%7D3E3.0.CO%7B%5C%%7D3B2-Y.

[30] R. S. Pressman. *Software Engineering: A Practitioner's Approach.* 7th. New York, USA: McGraw-Hill, 2010. ISBN: 978–0–07–337597–7.

[31] Praveen Ranjan Srivatsava, B. Mallikarjun y Xin-She Yang. "Optimal test sequence generation using firefly algorithm". En: *Swarm and Evolutionary Computation* 8 (feb. de 2013), págs. 44-53. ISSN: 22106502. DOI: 10.1016/j.swevo.2012.08.003. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210650212000612.

[32] Abdelilah Sakti, Yann-Gaël Guéhéneuc y Gilles Pesant. "Boosting Search Based Testing by Using Constraint Based Testing". En: 2012, págs. 213-227. DOI: 10.1007/978-3-642-33119-0_16. URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-33119-0%7B%5C_%7D16.

[33] Sapna Varshney y Monica Mehrotra. "Search based software test data generation for structural testing". En: *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes* 38.4 (jul. de 2013), pág. 1. ISSN: 01635948. DOI: 10.1145/2492248.2492277. URL: http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2492248.2492277.

[34] Joachim Wegener, Andre Baresel y Harmen Sthamer. "Evolutionary test environment for automatic structural testing". En: *Information and Software Technology* 43.14 (dic. de 2001), págs. 841-854. ISSN: 09505849. DOI: 10.1016/S0950-5849(01)00190-2. URL: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950584901001902.

[35] Vogella. *Eclipse, Android and Java training and support.* URL: https://www.vogella.com/ (visitado 09-10-2015).

[36] Paul M. Duvall, Steve Matyas y Andrew Glover. *Continuous Integration: Improving Software Quality and reducing risks.* Ed. por Inc. Pearson Education. Second Pri. Boston, 2007. ISBN: 13: 978-0-321-33638-5.

[37] Sonarqube. *Continuous Inspection | SonarQube.* URL: https://www.sonarqube.org/ (visitado 12-12-2018).

5. Sobre los autores

Danay Larrosa Uribazo, Ingeniera Informática de la Facultad Ingeniería Informática, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Investiga en los temas de calidad de software, y la generación de pruebas unitarias automáticas.

Sandra Verona Marcos, profesora instructora, Facultad de Ingeniería Informática, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Máster en Informática Aplicada. Se ha desempeñado como docente, investigando en los temas de metodologías de desarrollo ágil, calidad de software, y la generación de pruebas automáticas.

Perla Fernández Oliva, profesora asistente, Facultad de Ingeniería Informática, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Máster en Informática Aplicada. Se ha desempeñado como docente, investigando en los temas de inteligencia artificial, calidad de software, y la generación de pruebas automáticas.

Martha Dunia Delgado Dapena, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Doctora en Ciencias Técnicas. Profesora Titular. Se ha desempeñado como docente por más de 15 años, investigando en los temas de calidad de software, y la generación de pruebas automáticas.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES

Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 45-50 ISSN 2550-6730

Recibido: 19/07/2018
Aceptado: 27/01/2019

La geomática como herramienta para el autoaprendizaje en estudiantes de bachillerato

Johnny Xavier Bajaña

Universidad Técnica de Cotopaxi
johnny.bajana@utc.edu.ec

RESUMEN El acceso a la información geográfica sobre Web a través de navegadores comunes (browsers) ha crecido tan vertiginosamente como la red de redes en conjunto con los servicios WWW (World Wide Web). Presentando mapas de propósito general con herramientas sofisticadas interactivas y personalizables, se recupera información espacial con acceso a Bases de Datos, para realizar análisis visuales o la recuperación desde Base de los Objetos Geográficos; sin complejidad, acompañada del alto costo que implican por lo general los softwares de sistemas profesionales. Se describe la problemática planteada en el país y principales líneas de trabajo seguidas, para sumarse al desarrollo mundial en función de iniciativas del Consorcio Internacional OpenGIS (OGC). Seguidamente, se expresan objetivos trazados en la presente investigación. Finalmente, se brinda un pequeño resumen de cómo está organizado el mismo. Se desarrolla una solución geomática que se ejecuta en un servidor local para publicar y consultar información geográfica, para mejorar el proceso de autoaprendizaje mediante el acceso a mapas, basado en las especificaciones del Consorcio Internacional OpenGIS, que da soporte al conjunto de requerimientos de las aplicaciones SIG en Web. De acuerdo a la ejecución de la aplicación y tomando en consideración la encuesta efectuada en los alumnos del Tercero Bachillerato de la Unidad Educativa Eloy Alfaro, se considera la difusión del software para que sea evaluado por las autoridades educativas.
PALABRAS CLAVES: geomática, diseño de mapas, mapas temáticos, educación

ABSTRACT The access to geographic information on Web through common browsers (browsers) has grown as vertiginously as the network of networks in conjunction with the WWW (World Wide Web) services. By presenting general purpose maps with sophisticated interactive and customizable tools, spatial information is recovered with access to Databases, to perform visual analysis or recovery from the Base of Geographic Objects; without complexity, accompanied by the high cost usually implied by professional systems softwares. It describes the problems raised in the country and main lines of work followed, to join the global development based on initiatives of the OpenGIS International Consortium (OGC). Next, objectives outlined in the present investigation are expressed. Finally, a brief summary of how it is organized is provided. A geomatic solution is developed that is executed in a local server to publish and consult geographic information, to improve the self-learning process through access to maps, based on the specifications of the OpenGIS International Consortium, which supports the set of application requirements GIS on the Web. According to the execution of the application and taking into consideration the survey carried out in the students of the Third Baccalaureate of the Eloy Alfaro Educational Unit, the dissemination of the software is considered so that it can be evaluated by the educational authorities.
KEYWORDS: geomatics, map design, thematic maps, education

1. Introducción

Actualmente, la Geomática es un término científico que hace referencia al conjunto de ciencias, en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacena-

miento de información geográfica, también llamada información espacial o geoespacial. Por tanto, según la definición, la Geomática se preocupa de las mediciones, análisis, manejo, extracción y despliegue gráfico de datos espaciales relacionados con las características físicas de la Tierra [1].

A nivel mundial, la geomática educativa presenta portales como el desarrollado por la NASA, que ofrece información actualizada de los diferentes satélites de teledetección operados por la Agencia Espacial Norteamericana.

La web de la NASA permite seguir la trayectoria de cada satélite de observación de la Tierra, así como escoger distintos puntos de vista en 3D de su órbita, orientando la perspectiva de visualización del satélite mediante el ratón. El desplazamiento de cada satélite se puede observar a diferentes velocidades e incluso en tiempo real, este recurso educativo actualiza los materiales curriculares de introducción a la teledetección [2].

Sin embargo, uno de los inconvenientes al momento de acceder a esta plataforma es que únicamente está disponible en inglés, y depende de la NASA su publicación y cuando lo desean difundir, lo cual se convierte en desventaja al momento de obtener información para los estudiantes de Aplicaciones Informáticas de la Unidad Educativa Eloy Alfaro.

A nivel nacional, de acuerdo al Senescyt, mediante la publicación "Logros Proyecto Prometeo 2014", María Ester González, Ph.D. en Geografía de la Universidad de las Fuerzas Armadas, presentó un proyecto que se enfoca en la capacitación de equipos de investigación y docentes sobre la aplicación de nuevas tecnologías en la enseñanza de la Geomática (PROMETEO, 2014).

El Consorcio OpenGIS emana de los grupos de trabajo que definieron y estandarizaron en sus orígenes (años 80) el mundo de los Sistemas de Información Geográfica. Se formalizó posteriormente en el año 1994 como consorcio. Actualmente pertenecen socios Industriales, Gubernamentales, Universitarios y los propios socios fundadores. La principal misión del consorcio ha sido intentar estandarizar los servicios relacionados con la geografía en entornos distribuidos. Para ello han elaborado una serie de especificaciones abstractas que satisfacen el primer nivel de las necesidades propias de los SIG: interpretación de los datos geográficos [3].

Las acciones mínimas que involucra un Visor de mapas Web son las siguientes [4]:

1. Un cliente hace una solicitud a uno o más Servidores de Catálogos (basados en las especificaciones de Servicios de Catálogos de OpenGIS) para obtener los Urls que contienen la información deseada.
2. Los Servidores de Catálogos retornan URLs y la información acerca de los métodos mediante los cuales puede ser accedida la información de cada URLs.
3. El cliente localiza uno o más servidores que contienen la información deseada (ej., usando la tecnología de servidores de catálogos de OpenGIS), y los invoca simultáneamente.
4. Cada Servidor de Mapa accede a la información solicitada desde éste y la ensambla (render) adecuadamente para mostrar una o más capas en un mapa compuesto de muchas capas.
5. Los Servidores de Mapas proveen la información lista-para-mostrar al cliente o clientes, los cuales entonces la muestran. Los clientes pueden mostrar información desde muchas fuentes en una sola ventana.

Las primeras especificaciones de OpenGIS para Visores de Mapas Web especifican los protocolos de solicitud y respuesta para interacciones entre Servidores de Mapas y Clientes basados en Web, y están soportadas sobre las especificaciones ya anteriormente liberadas por OGC, tales como Simple Feature y Catalog Services; así como los estándares de metadatos de ISO que brindan las bases para construir ambientes abiertos y robustos para visores de mapas Web [5].

La presente investigación facilita el aprendizaje de los dicentes de la especialidad de Aplicaciones Informáticas a través de la presentación de una solución geomática local que permita obtener mapas de propósito general.

El país no dispone en estos momentos de software y herramientas propias que permitan la inserción eficiente en el mundo de la georeferenciación de información y su publicación en Internet. Por otro lado,

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 45-50 ISSN 2550-6730

la adquisición de las aplicaciones profesionales para ello resulta complicado por su costo monetario, la mayoría de ellos son de manufactura norteamericana.

Además, se hace necesario introducir otro de los elementos que hoy se aplica universalmente, el cual consiste en la interoperabilidad de la información, los procesos y las aplicaciones, que rige el desarrollo de los nuevos productos de software, base sobre la que se han elaborado estándares y especificaciones públicas para desarrolladores.

Los programas se utilizan básicamente en proyectos para la gestión de información geográfica, pero también es una herramienta para la generación de determinado tipo de mapas temáticos que ofrecen distintas visualizaciones de un mismo modelo de un fenómeno geográfico, su uso representa un excelente sistema de apoyo a la toma de decisiones. Uno de los ejemplos más característico del Sistema de Información Geográfico es el catastro, la obtención y actualización del enorme volumen de datos que supone la actividad catastral para inventariar y gestionar la propiedad de una ciudad, supone una de las tareas más complejas y costosas que se aborda desde la geomática. Desde mapas de zonas urbanas a otras rústicas, el catastro abarca la realidad territorial en múltiples aspectos, edificaciones, red vial, cultivos, derecho de propiedad.

Por tanto, el problema que resuelve el trabajo es la aplicación de la geomática para escenarios locales, lo cual se convierte en una nueva herramienta basada en los estándares del Consorcio internacional OpenGIS y presentar estos como imágenes de mapas o documentos en formatos interoperables. El resultado, desarrollado dentro del campo de prueba de OGC para los servicios Web, soporta la presentación de reportes de las diferentes bases de información geográfica disponibles en el país, la implementación de métodos estándares de acceso y transferencia de información geográfica y el aseguramiento de los diferentes servicios que están surgiendo y se vienen implementando en el ambiente Web y sobre las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

2. Metodología

El trabajo de investigación se enfocó en el uso de tecnologías libres y open source con formato estándar que permite una independencia tecnológica sin necesidad de costear licencias, conjuntamente con la geomática que es una herramienta para solucionar diversos mediante el uso de escenarios locales.

Las estrategias para el desarrollo de la investigación están en relación con la recopilación de información en referencia a los estudios previos que usaron la geomática como fuente de consulta mediante el uso de escenarios locales, que disminuye los tiempos de respuesta y no tienen que estar supeditado al servicio en servidores externos.

En referencia a la forma de verificar las ventajas de la geomática se ha utilizado como etapa piloto a los estudiantes de Aplicaciones Informáticas de la Unidad Educativa Eloy Alfaro para que puedan observar, manipular y evaluar la aplicación, que está en plena concordancia con los objetivos planteados en el inicio de la investigación.

La recopilación de los datos se basa en el tipo de investigación diseño cuasiexperimental. Se obtienen datos mediante la aplicación de encuesta dirigida a los estudiantes de la Especialidad de Aplicaciones Informáticas, de la Unidad Educativa Eloy Alfaro, lo cual permitió conocer el grado de aceptación del software, nivel de captación de la nueva aplicación.

La información obtenida se obtuvo mediante la aplicación de encuestas a los 114 estudiantes de Bachillerato de la especialidad de Aplicaciones Informáticas. Se analizó y se determinó que la aplicación de la geomática para el estudio de la geografía, el turismo, el desarrollo poblacional, etc., despierta el interés de los alumnos, ya que pueden obtener información de manera interactiva mediante la utilización de escenarios locales.

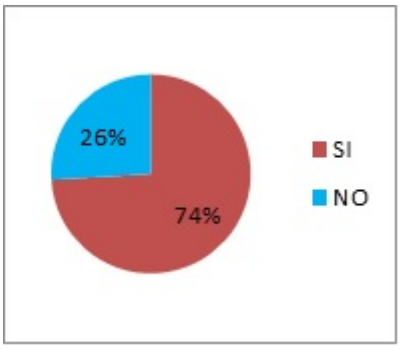

Figura 1: Satisfacción con presentación de resultados. (Fuente: elaboración propia)

3. Resultados y Discusión

Para el análisis y la interpretación de resultados se tomó en consideración las respuestas de la aplicación de la encuesta.

Se mostraron las ventajas de la aplicación y se observó por parte de los estudiantes como se puede optimizar el acceso a la información mediante la geomática, lo cual permitió a los estudiantes incrementar la motivación y la concentración para el uso de tecnologías.

El proceso utilizado fue describir principales características de los datos obtenidos, las muestras y mediciones, sirvió para el análisis de gráficos y concluir el análisis final. El análisis incluye tabulación de datos e interpretación.

Se describieron las principales características de los datos obtenidos, y las muestras y mediciones sirvieron para el análisis de gráficos y finalmente, se concluyó con el análisis final.

Por lo tanto, con la motivación para el estudio de la geomática, los resultados brindan un mejor panorama con referencia a la utilidad que brindan los escenarios locales.

El software utilizado para la tabulación de las encuestas fue Excel, que incluye un considerable número de herramientas estadísticas para la interpretación y presentación de resultados.

La aplicación geomática local mostró información de diferentes formas. Se empezó con la presentación de un escenario local basado en la provincia de Los Ríos, con información relacionada a la población por cantones. Los datos fueron recogidos de la página web del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, de esta manera se motiva al proceso de autoaprendizaje de los estudiantes de la Unidad Educativa “Eloy Alfaro”.

Se realizaron encuestas de satisfacción con el objetivo de obtener información sobre las ventajas de la utilización de la herramienta geomática para el proceso de autoaprendizaje.

En la figura 1, se evidencia la satisfacción por parte de los estudiantes de Aplicaciones Informáticas en la ejecución con relación a la rapidez de respuesta y presentación de resultados es de 74 %, lo que motiva a seguir utilizando esta herramienta.

Para la creación de la base de datos de la solución geomática se utilizó la aplicación pgAdmin, que es una herramienta de código abierto para la administración de bases de datos PostgreSQL y derivados. En Windows, pgAdmin viene incorporado con el instalador de PostgreSQL.

La funcionalidad de plantillas de datos colaborativas necesita introducir algunos cambios a las extensiones existentes. A la BD se le agrega una tabla donde se establece la relación entre una fuente de datos y los usuarios con permiso de edición sobre la misma. También es necesaria la modificación de las interfaces

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 45-50 ISSN 2550-6730

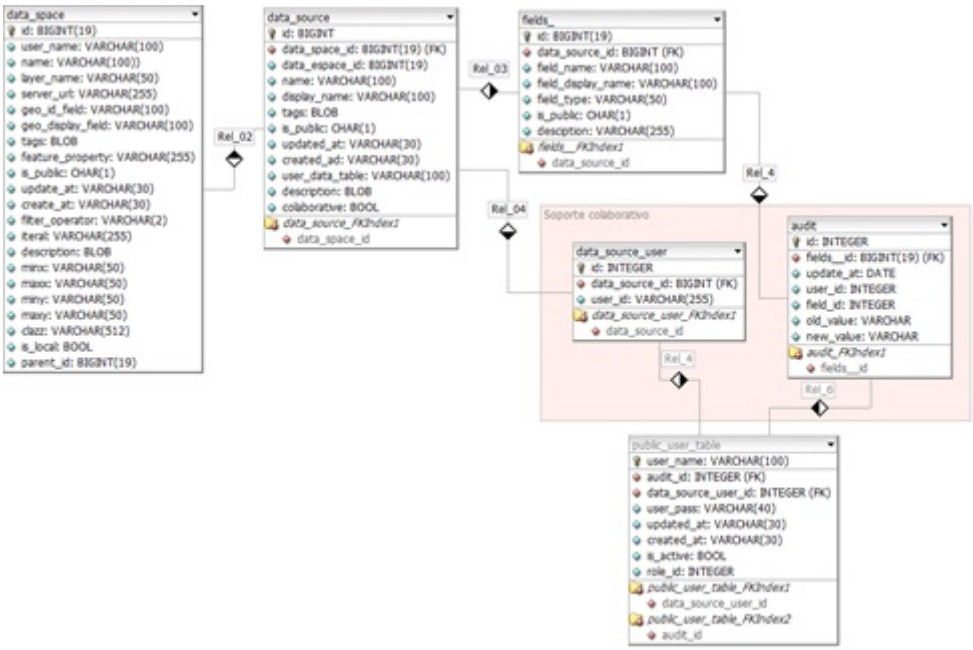

Figura 2: Cambios introducidos en la Base de Datos. (Fuente: elaboración propia)

visuales de los componentes de creación y edición de una fuente de datos donde al definir una de ellas como colaborativa es posible establecer los usuarios que podrán participar en la actualización de los datos.

La Figura 2 muestra las tablas del núcleo que tienen cambios con la introducción de la nueva funcionalidad. Se puede observar que se agrega a la tabla “data_source” el campo boolean “colaborative” para definir si una fuente de datos es colaborativa o no. También se crea la tabla “data_source_users” donde se relacionan los usuarios con permisos sobre una plantilla. Otro elemento nuevo introducido es la tabla “audit” que establece una auditoría sobre los cambios ocurridos en los valores de los campos guardándose los valores anteriores para restablecer en caso de errores.

Como parte de la arquitectura, el sistema debe ocuparse del manejo de la seguridad y solamente pueden modificar dichos datos aquellos usuarios que el propietario de la información establezca como los autorizados a insertar o modificar la información colaborativa. Además, se implementan dos esquemas para la notificación al propietario de los cambios, estos son los de enviar un correo electrónico con un reporte detallado de los cambios y el otro es en el área de notificación, donde también se le notifica al propietario de todos los cambios realizados sobre sus datos y por quién fue modificado.

4. Conclusiones

Con el desarrollo de esta investigación se obtuvo una aplicación útil para la Unidad Educativa, la cual permite publicar y consultar Información Geográfica en la Web accediendo a los datos primarios de los escenarios locales, desarrollando una solución geomática local, basado en las especificaciones del Consorcio Internacional OpenGIS, que implementa operaciones y da soporte al conjunto de requerimientos de las aplicaciones SIG en Web. Además el servicio desarrollado cumple satisfactoriamente con los requisitos de seguridad y protección de la información que son requeridos para la manipulación de la misma.

Referencias

[1] Ana Gómez-López. *Análisis de deformación de firmes de carretera mediante plataformas aéreas no tripuladas (UAV).* 10 de sep. de 2015.

[2] *Geomática educativa.* URL: `http://geocaa.blogspot.com/` (visitado 09-08-2015).

[3] *MappingGIS - Cursos de SIG para 2019 - ¡Impulsa tu perfil GIS!* MappingGIS. URL: `https://mappinggis.com/` (visitado 08-09-2015).

[4] Jeff de La Beaujardiere. "OpenGIS® web map server implementation specification". En: *Open Geospatial Consortium Inc., OGC* (2006), págs. 06-042.

[5] F. Ariza y F. Rodríguez. "Introducción a la normalización en Información Geográfica: la familia ISO 19100". En: *Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica, Universidad de Jaén* (2008).

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES

Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 51-58 ISSN 2550-6730

Recibido: 17/12/2018
Aceptado: 27/01/2019

Evaluación de accesibilidad en la página web de la UTM con el complemento Web Developer

Tatiana Zambrano Solórzano Christian Torres Morán Tatiana Cobeña Macías Wilner Cuenca Álava Miguel Pico Quijije

Universidad Técnica de Manabí, Dpto. Ciencias Informática y Electrónica Portoviejo, Manabí, Ecuador
{etzambrano,crtorres,tcobena,wcuenca,mpico7586}@utm.edu.ec

RESUMEN En la educación superior del Ecuador existen normativas orientadas a que las universidades establezcan la accesibilidad de sus páginas web. Mediante este estudio se han podido identificar los problemas que presenta la página web de la Universidad Técnica de Manabí (UTM) en el cumplimiento de estas regulaciones. En este trabajo se realizó un estudio formal, científico y riguroso con el fin de localizar las insuficiencias del sitio web de la UTM en relación a la accesibilidad. Esta investigación permitió establecer las bases para la generación de propuestas de cambios significativos en el entorno web de la UTM. Estos resultados constituyen una oportunidad de mejorar y diversificar los accesos a contenidos que se ofrecen. Y establecer una estructura de búsqueda y selección de información que favorezca el acceso de personas con discapacidad a las diferentes áreas del conocimiento de la institución.
PALABRAS CLAVE: accesibilidad web, evaluación de la accesibilidad, normas de accesibilidad, Web Developer

ABSTRACT

In higher education in Ecuador there are regulations aimed at universities to establish the accessibility of their web pages. Through this study we have been able to identify the problems that the web page of the Technical University of Manabí (UTM) presents in complying with these regulations. In this work a formal, scientific and rigorous study was carried out in order to locate the inadequacies of the UTM website in relation to accessibility. This research allowed to establish the bases for the generation of proposals for significant changes in the UTM web environment. These results are an opportunity to improve and diversify the access to content that is offered. And establish a search structure and selection of information that facilitates the access of people with disabilities to the different areas of knowledge of the institution.
KEYWORDS: web accessibility, accessibility evaluation, accessibility standards, Web Developer

1. Introducción

El internet se ha convertido en una necesidad para nuestras sociedades, a tal punto que resulta dificultoso y desconocido para muchos hacerlo de la forma tradicional considerando que se dispone del material bibliográfico y quizás actualizado.
El internet, es un recurso tecnológico, ofrece entretenimientos, servicios como el acceso a correos electrónicos, acceso a redes sociales, con posibilidades de acceder a ellos a cualquier hora del día y desde cualquier lugar con posibilidades de conexión, todo esto más la posibilidad de podernos comunicar a cualquier parte del mundo sin sumarle costos significativos a los servicios lo ha convertido en una necesidad atractiva para todos, permite la comunicación entre usuarios desde distintos lugares del mundo.

Internet mediante sitios con facilidades de acceso se constituye una herramienta ventajosa para las personas con discapacidad, porque les permite ingresar a la web de una manera ágil y sobre todo fácil para obtener información clara, veraz y confiable, ya que con estos recursos, el usuario con discapacidad no se tomará el trabajo de utilizar las cintas de audios costosas y pesadas, ni esperar la llegada de documentos impresos en Braille; sencillamente, pueden abrir el navegador web y escuchar como su lector de pantalla lee el periódico para ellos, es decir, que la web no solamente ofrece los servicios a las personas sin discapacidades, sino también a las personas con necesidades especiales, de tal manera que ellos puedan integrarse sin ninguna dificultad en los diferentes campos de su accionar [1].

2. Estado actual del tema.

Considerando los aspectos legales de derechos y obligaciones para personas con necesidades especiales, en el Ecuador la accesibilidad web se enmarca en la declaración de la Ley Orgánica de Discapacidades en su artículo 65 y 33, así como en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017, junto a la norma de accesibilidad NTE INEN-ISO/IEC 4050[2, 3], ofrecen la garantía de diversificar y mejorar los accesos para todos por igual, considerando que se permite la disposición de un amplio rango de sugerencias para crear contenido web más accesible, para un sinnúmero de personas que tienen discapacidad.
Continuar con estas pautas, conlleva a que el contenido web sea manejable desde un punto de vista de mayor integración. La W3C (Consorcio World Wide Web), es una comunidad internacional que desarrollan estándares web gracias al inventor Tim Berners-Lee[4], permitiendo a las personas con algún tipo de discapacidad la posibilidad de descubrir, entender, navegar e interactuar con la web, y ser incluidas en todos los campos de acción con la inserción de la tecnología.
Con este estudio se pretende reducir las limitaciones que son producto de la discapacidad como una barrera y facilitar el acceso a un medio tecnológico con información para poder desarrollar sus capacidades de una forma más amplia y segura [5]. Es de señalar que en esta inclusión también se tomará en cuenta a otros tipos de personas que por varios motivos sufren una incapacidad transitoria.

2.1. Herramientas de revisión

Para poder analizar y comprobar la accesibilidad que tiene un sitio web, es necesario contar con instrumentos de verificación, los cuales permiten hacer una revisión en las páginas web, deliberando si está correctamente escrita, mediante una serie de cuantificaciones[6, 7].
Para determinar el grado de conformidad de un sitio web de acuerdo a los criterios generales de accesibilidad, se puede realizar una revisión automática acompañada de una revisión manual, el cual permite tomar acciones correctivas en el caso que se presente algún problema[8, 9].

2.2. Revisión manual de la accesibilidad

Las herramientas de revisión manual, consisten en un complemento que poseen algunos navegadores web, para ejecutar algunas pruebas de accesibilidad, cuya responsabilidad recae en un experto que efectúa una revisión de forma manual de la accesibilidad de la página web, entre las que se pueden enumerar las siguientes herramientas[10, 11]: HERA, HERA-XP y Edipo, entre otras; además se cuenta con algunas herramientas que se descargan e instalan en el navegador como el complemento Web Developer que se puede emplear en la revisión manual.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 51-58 ISSN 2550-6730

2.2.1. Componente Web Developer

El complemento Web Developer Toolbar, es una poderosa extensión para el navegador, en combinación con otras extensiones, muestra una sólida comprensión de los principios de la accesibilidad, la revisión manual facilita un gran número de puntos de verificación requeridos para un sitio accesible.
A pesar de los beneficios que tiene este complemento, no deja de ser una herramienta eficaz que puede ser aplicada como parte de un método general de diseño de la accesibilidad web[12]. Sin embargo, no muestra a los desarrolladores todos los posibles inconvenientes de accesibilidad que tiene una página en particular pueda tener.

Los ítems que forman el componente Web Developer son los siguientes[13]:

- **Disable:** Radica en la desactivación de ciertas partes o elementos del navegador, como la desactivación de JavaScript, en los colores, entre otros.
- **Cookies:** Esta opción concierne todo evento proveniente de las cookies, así como es el caso de hallar información truncada en las páginas web.
- **CSS:** Es la hoja de estilo, en la que incluye diversas operaciones, sin embargo, no son aplicadas a la página web, sino que únicamente activa la edición sobre el propio navegador web; con esta opción se puede ver el aspecto cuando se altera el código CSS sobre la página web.
- **Forms:** Es una opción relacionada con los formularios del sitio web, con la finalidad de destacar o adquirir la información de los campos, asimismo se puede cambiar un campo de selección por un campo de texto, entre otros.
- **Images:** Con esta opción se puede hacer demostraciones de las opciones que se tiene en cuanto a las imágenes de la página web, así como mostrar información o la ruta, igualmente deshabilitar sólo las imágenes que son externas al sitio web, o ver las dimensiones en píxeles, entre otros.
- **Information:** Se puede lograr ver la información en la mayoría de elementos que tiene la página web, así como ver el JavaScript que se está ejecutando, como también ver el tamaño del documento, entre otros.
- **Miscellaneous:** Tiene sin números de atenciones que se pueden realizar con el sitio web, como es la edición del código HTML para estar al tanto de lo que ocurre al cambiar el código sin necesidad de subir al servidor, de la misma manera se puede ubicar líneas de guías para saber de la localización de puntos que hay en la página web.
- **Outline:** Este apartado se logra acentuar cada uno de los elementos que contiene el portal web, como las tablas, los frames, celdas, entre otros.
- **Resize:** El beneficio de esta opción es que se puede redimensionar a otros tamaños, o la definición de la ventana del navegador, así como observar el aspecto que tiene la web.
- **Tools:** La opción de herramientas brinda una numerosa utilidad, como los validadores de código, verificadores de link, entre otros.
- **Options:** Muestra todas las opciones que contiene el complemento Web Developer, el cual permite acceder a distintas opciones, así como establecer el comportamiento o ya sea la configuración para desarrolladores.

3. Materiales y Métodos

El método establecido que se aplicó para la evaluación de la página web de la Universidad Técnica de Manabí, fue la observación y el uso del complemento Web Developer como instrumento de extracción de resultados, esta herramienta adiciona un sin número de opciones de desarrollo a que complementa un navegador, por tanto, se permitió ejecutar la comprobación del sitio web para demostrar su accesibilidad web.

4. Resultados y Discusión

Se obtuvieron los siguientes resultados, en la evaluación de la página principal de la Universidad Técnica de Manabí:

En la opción de **Disable All Styles** se usó para la desactivación de los estilos en la página web de la UTM, y de esta manera se evidencia que el sitio registra el uso de hojas de estilo CSS, como también muestra si la página web hace uso de HTML

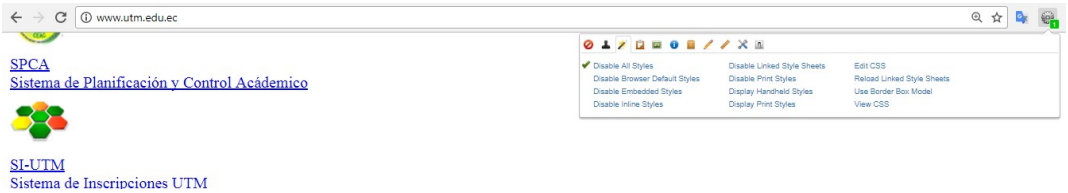

Figura 1: Aplicación de Disable All Styles

En **Disable Embeded Styles**, se desactivan todos aquellos estilos incrustados que estén en la página web.

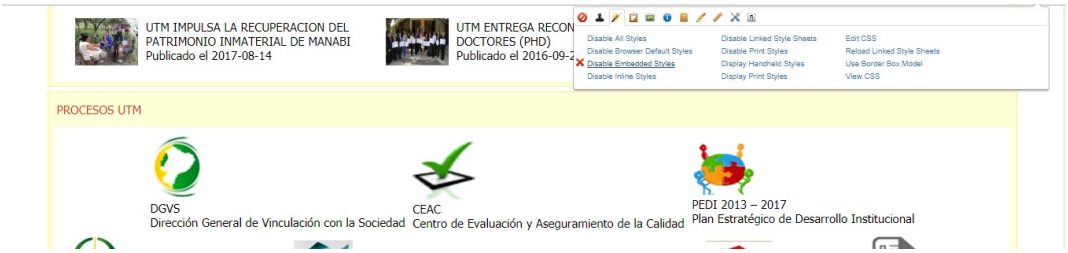

Figura 2: Aplicación de Disable Embeded Styles.

Reload Linked Style Sheets, reside en la desactivación del modo de impresión en el portal web, por ello muestra todos los enlaces que están en dicha página.

Cuando se elige la opción de **View Form Information**, se presenta toda la información de los formularios que existen en el sitio web, dando el resultado en una pestaña nueva una tabla de resumen.

En la opción de Display Alt Attibutes, muestra la descripción de la imagen que contiene el atributo alt, ya que hay navegadores web que tienen diferentes características por ello no pueden mostrar ninguna

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 51-58 ISSN 2550-6730

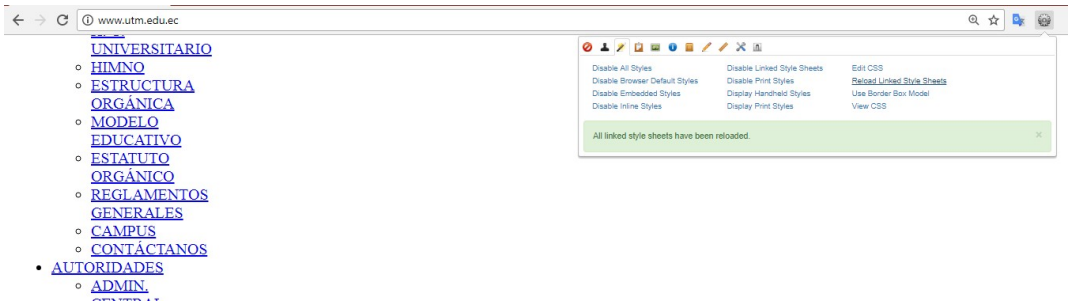

Figura 3: Aplicación de Reload Linked Style Sheets

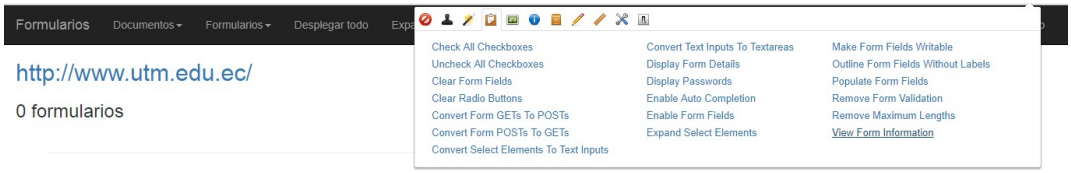

Figura 4: Aplicación de View Form Information

imagen, y es aquí donde el atributo alt es de gran ayuda.

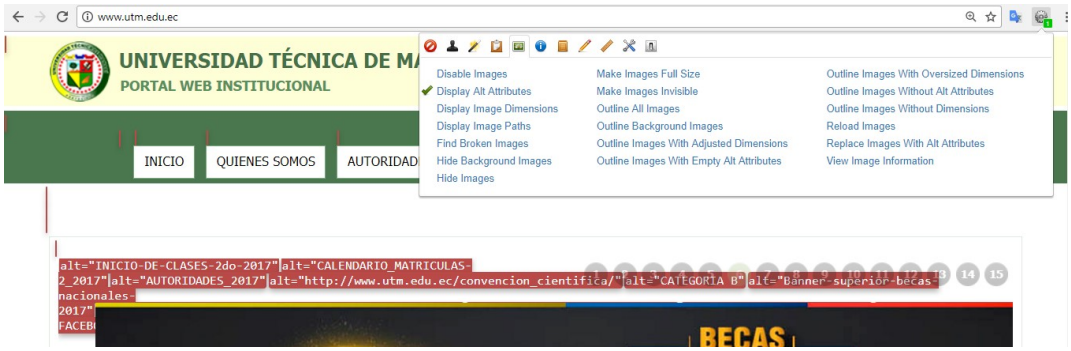

Figura 5: Aplicación de Display Alt Attibutes

La opción Find Broken Images da a conocer el total de los enlaces rotos que hay en una página web, se debe de eliminar estos enlaces ya que es un requerimiento para que los sitios web se posicionen en internet.

Hide Images es la opción en la que oculta todas las imágenes que tiene el portal web, la expectativa que se tiene es que al momento de leer se evita el entretenimiento con las imágenes o cuando se quiere imprimir sólo el texto del sitio web.

La opción de Replace Imagen With Alt Attributes, se debe de insistir en la gran importancia que se tiene al incluir la alternativa de texto adecuada en todos los sitios web, la cual muestra con precisión el texto que está presente en la imagen o la intención que ésta tenga.

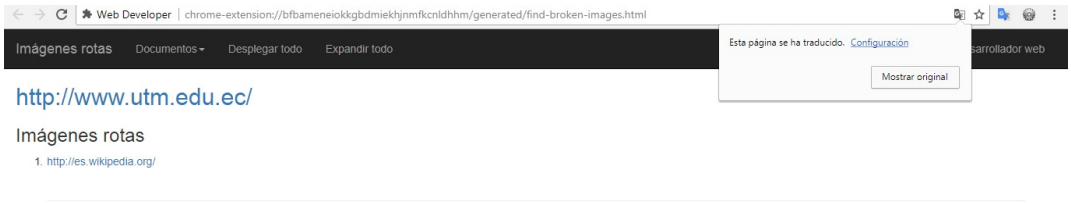

Figura 6: Apliación de Find Broken Images

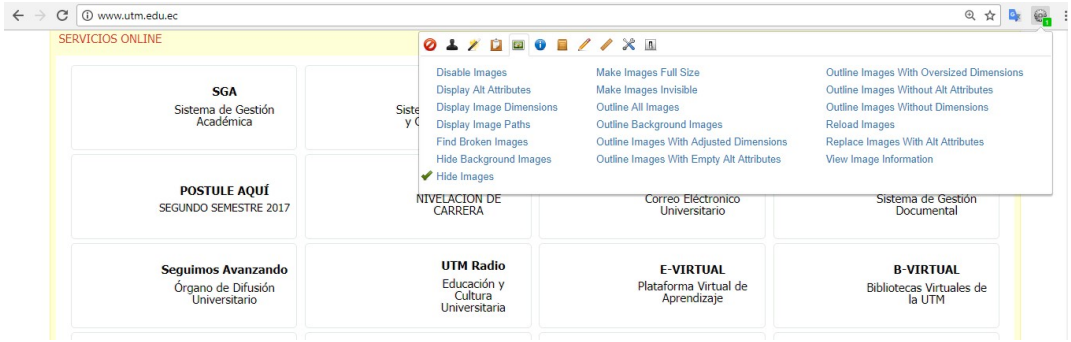

Figura 7: Aplicación de Hide Images

5. Análisis

Conforme a los resultados obtenidos y analizados considerado la revisión manual al sitio Web de la Universidad Técnica de Manabí, existe insuficiencia con el atributo “alt”, en cuánto a los enlaces a sus otros sitios web, la opción de “find broken images”, permite comprobar que la página evaluada se posesiona en la web.
De acuerdo con la evaluación de sitios web realizadas a otras Universidades Manabitas [10], El sitio web de la Universidad Técnica de Manabí se ubica como la segunda universidad con menos problemas de accesibilidad en su sitio web, su problema principal reside en el escaso cumplimiento de los requerimientos para que sea un sitio web accesible.

5.1. Discusión

A pesar que el sitio web la Universidad Técnica de Manabí tiene ciertas inconsistencias de accesibilidad, y teniendo en cuenta que las pruebas realizadas en la página principal, mantiene cierta accesibilidad,

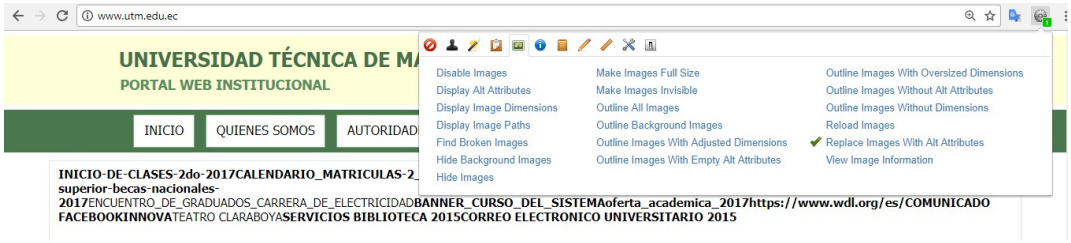

Figura 8: Aplicación de Replace Imagen With Alt Attributes

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 51-58 ISSN 2550-6730

dando a conocer que para mejorar completamente se tendría que cumplir con todas las exigencias que tiene la educación superior.
Teniendo claro el concepto de la accesibilidad web, el que refiere a personas con necesidades especiales puedan navegar en el internet, sin embargo, cualquier persona puede tener dificultad de acceso a la web en cualquier momento. En sí la accesibilidad web se trata de ser una puerta de entrada para que el usuario al sitio web de la universidad.

5.2. Comparación

De acuerdo a la ilustración 9 [14], los resultados del análisis general muestran que la ESPAM registra la mayor cantidad de problemas en sus páginas web, y por otra parte es necesario indicar que la UTM presenta el mayor grado de advertencias, así como en los puntos no verificados. En todas las universidades existen los problemas relacionados con los portales web. Cabe destacar que la ESPAM es la más propensa a tener estas inconsistencias en el cumplimiento de las características que tiene la accesibilidad entre los que se puede mencionar están el uso del color, contraste, entre otros.

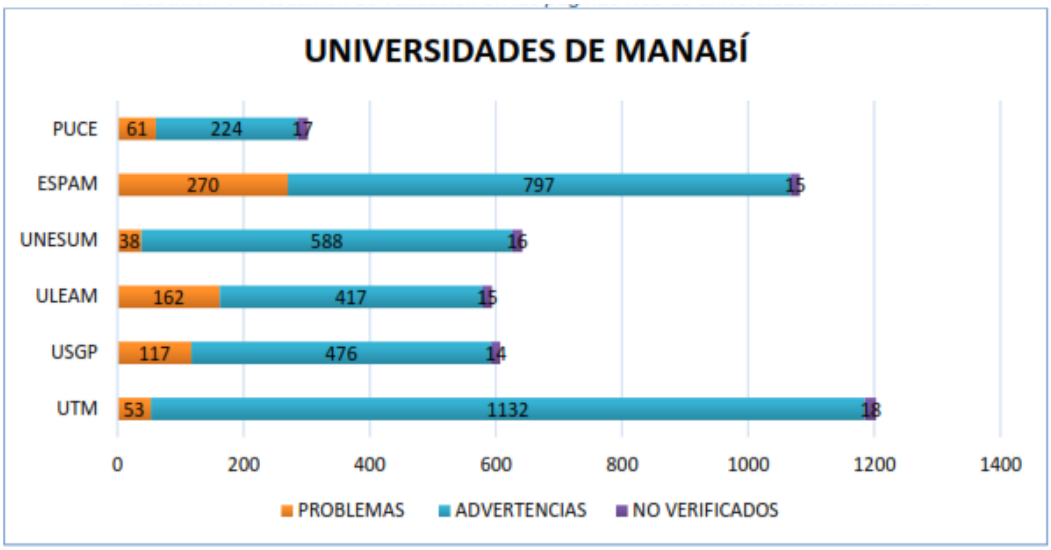

Figura 9: Resumen de validación en las páginas web de universidades manabitas
Obtenido: Trabajo Final Máster Accesibilidad web en las Universidades Manabitas del Ecuador.

6. Conclusiones y trabajos futuros

6.1. Conclusiones

A pesar que existe una norma para la integración de la accesibilidad Web en las Universidades del Ecuador, es de indicar que la Universidad Técnica de Manabí no ha logrado acentuar en su totalidad, todas las normas establecidas que engloba la educación superior para tener accesibilidad web.
Uno de los roles que debería cumplir las universidades manabitas, es la de encaminar a los desarrolladores a perfeccionarse en el área de la programación, relacionada al cumplimiento de la aplicación de los estándares de accesibilidad sujetos a las leyes vigentes en el territorio Ecuatoriano, promoviendo

congresos, seminarios, talleres, entre otros, de tal manera que se pueda mitigar los inconvenientes que se han evidenciado en este estudio investigativo, aportando con estos resultados en el incremento de la accesibilidad.

6.2. Trabajo futuro

Crear un prototipo de la página web de la Universidad Técnica de Manabí accesible para el ámbito educativo.

Referencias

[1] Cherie de los Angeles Venegas Sandoval y Gladys Myriam Mansilla Gómez. "Accesibilidad en web para personas con discapacidad visual". En: *Síntesis Tecnológica* 2.1 (2017), págs. 1-10.

[2] *Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN – Ecuador*. URL: `http://www.normalizacion.gob.ec/` (visitado 11-10-2017).

[3] *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades – CONADIS*. URL: `https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/` (visitado 16-10-2017).

[4] *Sobre el W3C - W3C España*. URL: `https://www.w3c.es/Consorcio/` (visitado 16-08-2017).

[5] *Introducción a la Accesibilidad Web*. URL: `https://www.w3c.es/Traducciones/es/WAI/intro/accessibility` (visitado 21-11-2017).

[6] Tania Acosta y Sergio Luján-Mora. "Análisis de la accesibilidad de los sitios web de las universidades ecuatorianas de excelencia". En: *Enfoque UTE* 8.1 (24 de feb. de 2017), págs. 46-61. ISSN: 1390-6542. DOI: `10.29019/enfoqueute.v8n1.133`. URL: `http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/133` (visitado 09-03-2019).

[7] *Accesibilidad Web: De revisión*. URL: `http://accesibilidadweb.dlsi.ua.es/?menu=hr-revision` (visitado 20-10-2017).

[8] Yusneyi Carballo Barrera, María Gabriela Acosta Vásquez y Ronald Aguilera González. "EAW: Evaluador de Criterios de Accesibilidad Web para Pautas Relacionadas con Discapacidad Visual y Discapacidad Motora". En: 4.2 (2017), pág. 9.

[9] *Accesibilidad Web: Evaluación*. URL: `http://accesibilidadweb.dlsi.ua.es/?menu=evaluacion` (visitado 17-09-2017).

[10] Marcelo Curti, Bibiana D. Rossi y Viviana Chapetto. "Accesibilidad de la información en los sitios web de entidades bancarias públicas y privadas de la República Argentina". En: Simposio de Informática en el Estado (SIE 2015) - JAIIO 44 (Rosario, 2015). Sep. de 2015. URL: `http://hdl.handle.net/10915/56053` (visitado 09-03-2019).

[11] *Herramientas de evaluación manuales \textbar Accesibilidad Web*. URL: `http://webaccesible.cea.es/?q=manual` (visitado 11-08-2017).

[12] *Web Developer: una herramienta indispensable para el desarrollo web*. 30 de abr. de 2012. URL: `https://www.aquihaydominios.com/blog/web-developer-una-herramienta-indispensable-para-el-desarrollo-web/` (visitado 06-08-2017).

[13] *Web Developer*. URL: `https://chrispederick.com/work/web-developer/` (visitado 17-12-2018).

[14] Tatiana Zambrano. "Accesibilidad web en las Universidades Manabitas del Ecuador". Tesis doct. Universidad de la Rioja, 13 de dic. de 2017.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES

Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 59-68 ISSN 2550-6730

Recibido: 22/11/2018
Aceptado: 27/01/2019

Wifi para comunicaciones de largo alcance con tecnología TDMA

David Fernando Peñarrieta Bravo

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Junín, Manabí, Ecuador
davidfernando57@hotmail.com

RESUMEN

Las redes WiFi de larga distancia cada vez son más utilizadas para proporcionar conectividad a internet en países en vía de desarrollo. En esta región, proporcionar soporte para aplicaciones en tiempo real es considerado un requisito importante. Este documento estudia del estándar 802.11n su rendimiento en enlaces WiFi para largas distancias, utilizando TDMA (acceso múltiple por división de tiempo) como método de censado al medio. Para ello se utilizó Network Simulator (ns-3) en escenarios donde se configuraba el sistema de modulación y codificación (MCS) y la distancia. Los resultados experimentales del (Throughput, latency, jitter y losses) demuestran que entre mayor sea la distancia, el rendimiento de la tasa de transmisión de datos disminuye, de igual forma la latencia, el jitter y los paquetes perdidos se incrementan, estos resultados son directamente proporcional a la distancia del enlace.
PALABRAS CLAVE: WiFi larga distanci, 802.11n, TDMA, ns-3.

ABSTRACT Long-distance WiFi networks are increasingly used to provide Internet connectivity in developing countries. In this region, providing support for applications in real time is considered an important requirement. This document studies its 802.11n standard performance in WiFi links for long distances, using TDMA (time division multiple access) as a method of census to the environment. For this, Network Simulator (ns-3) was used in scenarios where the modulation and coding system (MCS) and distance were configured. The experimental results of (Throughput, latency, jitter and losses) show that the greater the distance, the performance of the data transmission rate decreases, likewise the latency, jitter and lost packets increase, these results are directly proportional to the distance of the link.

KEYWORDS: WiFi Long Distance, 802.11n, TDMA, ns-3.

1. Introducción

En la actualidad han quedado atrás los días en que el acceso a internet se considera un lujo reservado para los habitantes de las zonas urbanas. Las entidades de telecomunicaciones como la ITU, ONG's y los gobiernos a través de los ministerios del ramo, se han dado cuenta de la importancia de proporcionar conectividad para la población rural con el objetivo de brindar mejores condiciones de vida y un mayor acceso a dicho servicio. Varias regiones especialmente en las zonas rurales, requieren soluciones de comunicaciones de red de bajo costo. Las conexiones tradicionales basadas en telefonía convencional, telefonía móvil, por satélite o fibra, han demostrado ser una propuesta costosa, especialmente en regiones de baja densidad de población y de bajos ingresos. La norma generalizada para redes WLAN, IEEE 802.11b, funciona en la banda de frecuencia de 2,4 GHz, es uno de los estándares inalámbricos más populares. Las operaciones sin licencia en la banda de frecuencia ICM y una variedad de productos de hardware disponibles a bajo costo; IEEE 802.11 hacen de WiFi una atractiva y económica alternativa de comunicación en áreas alejadas a las ciudades. Sin embargo, las redes WiFi trabajan por defecto con el protocolo de

censado al medio CSMA/CA, que resulta ser poco adecuado para enlaces de larga distancia ya que son muy poco fiables debido a factores tales como el desvanecimiento de la señal y la interferencia, lo que limita el rendimiento global de la red. En esta investigación se propone utilizar el protocolo TDMA como una alternativa a CSMA/CA, para ello se realizaron varias pruebas de simulación de rendimiento del enlace, mediante el software ns3.

INFORMACIÓN PRELIMINAR

IEEE 802.11n

Los estándares inalámbricos de la familia IEEE 802.11 regulan la velocidad y el tipo de transmisión de datos por ondas de radio. IEEE 802.11n fue publicado en el año 2009[1], opera en las bandas 2.4 y 5 GHz, frecuencia sin licencia, que está disponible en la mayoría de los países del mundo. La velocidad de transmisión del estándar 802.11n alcanza nominalmente los 600 Mbps[1], para ello utiliza técnicas de transmisión MIMO-OFDM (multiplexación por división de frecuencia ortogonal con múltiples entradas y salidas) para permitir una comunicación de alto rendimiento, duplica el canal con respecto a sus antecesores, obteniendo 300 Mbps y 600Mbps, utilizando un canal de 20 MHz en el primer caso y 40 MHz en el segundo caso[1]. El estándar 802.11n trabaja tanto en la banda de 2.4 GHz y ser compatible con 802.11 b/g, así como en la de 5 GHz con 802.11a. El modo de operación PCO (Phased Coexistence Operation) le permite al estándar 802.11n cambiar dinámicamente el canal de operación de 40 MHz a 20 MHz[1], mientras se comunica con una antena WiFi 802.11 a/b/g o un dispositivo 802.11n, lo cual se traduce en compatibilidad retroactiva con los estándares antecesores de acuerdo a la frecuencia permitida.

Límite en la Capa Física.

IEEE 802.11 utiliza bandas de frecuencias agrupadas en las aplicaciones industriales científicas y médicas (ICM), pero con niveles de restricción de la potencia de transmisión máxima. Las condiciones se fijan por país y determinan la distancia máxima alcanzable. En muchas naciones en vías de desarrollo se aplica la reglamentación norteamericana de la FCC, en el caso de Ecuador a través del Ministerio de Telecomunicaciones, se creó un documento el cual contiene el plan nacional de frecuencia[2], en la cual se distribuyó las frecuencias del espectro radioeléctrico del país, siempre observando lo que dictamina el organismo mundial UIT. Para las bandas de frecuencia contempladas entre 2400-2483.5 MHz en modo PtP (punto a punto) y punto-multipunto se permite hasta 1000 mW de potencia de transmisión más 6dBi de ganancia de la antena[3]. Otros países son más restrictivos, como es el caso de los europeos. Estas restricciones marcan el primer límite claro de WiFi para alcanzar comunicaciones en largas distancias.

El segundo aspecto que debe tenerse en consideración es la propagación. Para lograr distancias largas en esas frecuencias, LOS (línea de vista) es una necesidad. La pérdida exacta de propagación de un enlace puede calcularse utilizando modelos, son diferentes para las zonas urbanas o rurales. En áreas aisladas, un modelo irregular del terreno como Longley-Rice[4] debe ser utilizado para tener en cuenta el perfil del terreno.

El tercer aspecto importante se refiere a la recepción de la señal. En las normas IEEE 802.11a/b/g/n existen varias velocidades correspondientes a diferentes modulaciones, todas con diferente sensibilidad del receptor, lo que resulta en diferentes distancias para las diferentes velocidades. Se obtendrán enlaces más largos con velocidades de transmisión más bajas.

Bloque ACK. 802.11 original, introdujo ACK para confirmar los frames unicast con recepción exitosa; 802.11n mejora las políticas de ACK con 4 esquemas: Nom ACK, implícit ACK, Nom explícit o PSMP (Power Save Multi-Poll) ACK y BlockACK[5].

MCS en el estándar 802.11n

El canal de desvanecimiento inalámbrico varía con el tiempo, la adaptación del enlace debe ser empleada para sostener una comunicación confiable y maximizar el rendimiento. El estándar define los protocolos de control de acceso al medio (MAC) y un gran conjunto de esquemas de modulación y codificación (MCS) para facilitar este objetivo[1].

MCS (Modulation and Coding Scheme) Sistema de Modulación y Codificación, es un parámetro importante en la simulación. El estándar 802.11n define un total de 77 MCS[1]. Cada MCS es una combinación

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 59-68 ISSN 2550-6730

de una modulación determinada (por ejemplo, BPSK, QPSK, 64-QAM), la tasa de codificación o Coding Rate (por ejemplo, 1/2, 3/4), el intervalo de guarda o Guard Interval (800ns o 400ns) y el número de secuencias espaciales o Spatial Streams. Todos los puntos de acceso 802.11n, deben soportar como mínimo desde MCS0 hasta MCS15 y los clientes 802.11n desde MCS0 hasta MCS7. A continuación, se muestra la Tabla 1 con la combinación de parámetros para cada índice MCS del 0 al 15. Este valor importante se necesita en la comunicación mediante la tecnología WiFi con el uso del estándar 802.11n.

Tabla 1: Valores de Modulación y Codificación IEEE 802.11n-canal de 20 MHz[1].

MCS Index	Spatial Streams	Modulation type	Coding Rate	Data Rates (Mb/s) 20 MHz	
				800ns GI	400ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2
1	1	QPSK	1/2	13.0	14.4
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7
3	1	16-QAM	1/2	26.0	28.9
4	1	16-QAM	3/4	39.0	43.3
5	1	64-QAM	2/3	52.0	57.8
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65.0
7	1	64-QAM	5/6	65.0	72.2
8	2	BPSK	1/2	13.0	14.4
9	2	QPSK	1/2	26.0	28.9
10	2	QPSK	3/4	39.0	43.3
11	2	16-QAM	1/2	52.0	57.8
12	2	16-QAM	3/4	78.0	86.7
13	2	64-QAM	2/3	104.0	115.6
14	2	64-QAM	3/4	117.0	130.0
15	2	64-QAM	5/6	130.0	144.4

WiFi para largas distancias.
Aunque WiFi fue desarrollado para redes de área local, ha demostrado ser rentable para aplicaciones de larga distancia[6] y el enorme éxito de WiFi ha permitido economías de escala que será difícil de superar por las tecnologías alternativas como WiMax.

Existen grupos de investigadores como el Digital Gangetic Plains (DGP)[7] en India, o el Technology and Infraestructure for Emerging Regions (TIER)[8] en Estados Unidos, que han demostrado que se pueden realizar enlaces punto a punto (PtP) en varios kilómetros de distancia, usando tecnología WiFi, obteniendo prestaciones razonables. Ambas aproximaciones se basan en reemplazar el protocolo de censado CSMA/CA de la subcapa MAC por TDMA.

TDMA El protocolo TDMA (Time Division Multiple Access) proporciona buenas soluciones a la correlación de tráfico, colisión, contención y problemas de cambio de canal en la base. También permite a los clientes compartir el mismo canal de frecuencia, dividiendo la señal en diferentes ranuras de tiempo, observar Figura 1. Existen muchos protocolos TDMA basados en MAC para redes WiLD (WiFi Long Distance), algunas propuestas para cubrir diferentes escenarios como (single-hop vs. multi-hop), (centralizado vs distribuidos), entre otros. Sin embargo, SoftMAC[9], MadMAC[10], FreeMAC[11] y Overlay MAC capa (OML)[12]; proporcionan una plataforma inicial para el desarrollo de protocolos TDMA basados en MAC para Redes WiLD.

SoftMAC[9], desarrolló un sistema de software que permite a los investigadores utilizar las tarjetas de red inalámbrica de productos básicos económicos, para experimentar, fáciles de construir y desplegar capas

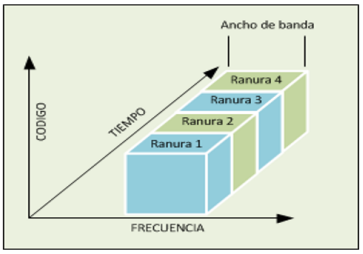

Figura 1: TDMA- División de canal de frecuencia en ranuras de tiempo.

MAC dinámicas experimentales en sistemas linux. MadMAC amplió la idea de SoftMAC e implementó un sistema single-hop TDMA entre dos nodos con sincronización de tiempo. Varios desafíos de diseño se dirigieron a mantener la estructura persistente de la ranura y la transmisión continua del paquete. FreeMAC aprovechó la metodología descrita en SoftMAC e implementó un sistema TDMA de un solo salto con estrictos requisitos de tiempo y proporcionó un enfoque multicanal. La superposición de la capa MAC (OML) está diseñada en la parte superior del 802.11 MAC[13] combinando la potencia de cambiar la capa MAC y la facilidad de modificar sólo las capas superiores. Se centra en la asignación de ranuras a los nodos de acuerdo con una fair queuing (WFQ) para mejorar la imparcialidad de 802.11. OML utiliza relojes de sincronización para dividir el tiempo en igual tamaño y luego emplea un algoritmo distribuido para asignar estas ranuras entre los nodos competidores. Los protocolos MAC basados en TDMA discutidos anteriormente son genéricos en naturaleza y no están dirigidos a las redes WiLD; sin embargo, proporcionan el establecimiento del desarrollo de MAC basado en TDMA para redes WiLD. 2P, WiLDNet, JazzyMAC, JaldiMAC[10]; son algunos de los importantes protocolos MAC basados en TDMA que abordan especialmente los problemas de MAC WiLD.

2. Materiales y Métodos

Es importante indicar que los experimentos realizados se ejecutaron en un ordenador cuyas características son las siguientes: Hardware (procesador Core I7 de 3.2 GHz, 8GB de memoria RAM, espacio en disco de 1Tb), en software (el sistema operativo Ubuntu 16.04 y es necesario un compilador para ejecutar el simulador, en este caso se usó c++ en su versión 4.3).

Para obtener los datos de esta investigación se utilizó un simulador de redes conocido como ns-3, el mismo que se aborda brevemente, para obtener una idea de cómo funciona y lo que es capaz de realizar.

Ns-3 Es un simulador de redes de eventos discretos dirigidos principalmente para la investigación y el uso educativo. El proyecto ns-3, iniciado en 2006, es un proyecto de código abierto. Ns-3 ha sido desarrollado para proporcionar una plataforma abierta y extensible a la red de simulación, para la creación de redes de investigación y educación. En resumen, ns-3 proporciona modelos de cómo funcionan las redes de paquetes de datos, suministra un motor de simulación para los usuarios, cuyo compilador es C++ en su versión 4.3, para llevar a cabo experimentos de simulación. Algunas de las razones para utilizar ns-3 incluyen la realización de estudios que son más difíciles o imposibles de realizar con sistemas reales, para estudiar el comportamiento del sistema en un entorno altamente controlable, reproducible, y para aprender acerca de cómo funcionan las redes. Los usuarios tendrán en cuenta que el modelo disponible en el ns-3 se centra en el modelado de la forma en protocolos de Internet y redes de trabajo.

Ns-3 en enlaces de largas distancias. Para simular enlaces WiFi de largas distancias es necesario modificar el simulador Ns-3, y esto debe ser de manera integral, existen varios estudios realizados que describen los pasos a realizar para simular enlaces a grandes distancias con tecnología WiFi. El proyecto TUCAN3G[14] desarrolló un parche para ns-3, con el fin de simular y analizar el desempeño de los enlaces

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 59-68 ISSN 2550-6730

de larga distancia basados en las tecnologías WiFi, conocida como WiFi long distance (WiLD). Varias secuencias de comandos básicos proporcionan la comprobación de estas tecnologías para su uso en enlaces de larga distancia. Con el fin de permitir una simulación fiable, algunos cambios se han realizado en los módulos ns-3, específicamente en los módulos de aplicaciones WiFi. La Tabla 2 muestra las características y configuraciones principales del script utilizado para las simulaciones mediante ns-3.22 con la mejora para enlaces WiFi en largas distancias.

Tabla 2: Características y configuraciones principales del script.

Valores por defecto utilizados en el script	
Estándar:	IEEE 802.11n
Frecuencia:	5 GHz
Ancho de banda:	20 MHz
Intervalo de guarda:	largas (800ns)
SLOTTIME:	Optimizado
Fragmentación:	Desactivado
CTS / RTS:	Desactivado
BlockAck:	Desactivado
QoS:	EDCA no se utiliza, pero disponible
Protocolo de transporte:	UDP
Propagación del modelo:	FixedRssLossModel y ConstantSpeedPropagationDelay Model
Bidireccional flows:	Sí

El parche se desarrolló originalmente en la versión ns-3.18. Para efectos de esta simulación se lo acopló a la versión Ns-3.22[16]. La Figura 2 muestra una captura del terminal de Ubuntu en donde se corrrobora el buen funcionamiento de ns-3.22.

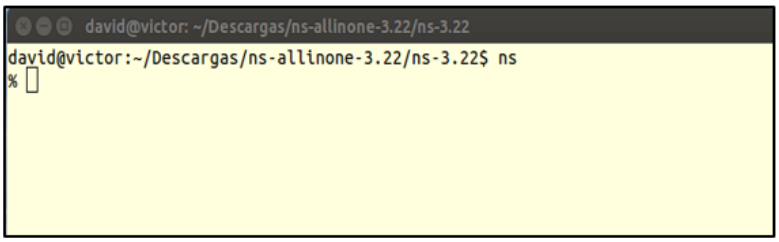

Figura 2: Comprobación de funcionamiento de ns-3.22 en el terminal de ubuntu 16.04.

Pruebas de los enlaces.
Para realizar las simulaciones necesitamos del terminal de Ubuntu, y luego accedemos al directorio donde está ubicado el archivo ns-allinone-3.22/ns-3.22/scratch/basic-WiLD.cc, el cual contiene el script y ejecutamos: ./waf - - run la Figura 3 muestra lo indicado.

Para la ejecución de secuencias de comandos c++ de un script en ns-3, es necesario el elemento (. /Waf - - run). En la Figura 3, se muestran valores de algunas variables necesarias para la obtención de la simulación.

En la Tabla 3 se explica el uso y alcance de las variables en la ejecución del script.

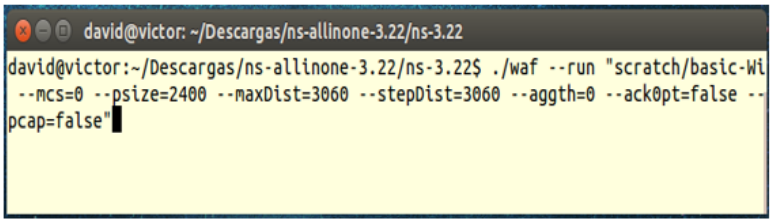

Figura 3: Parámetros de simulación de ns-3 basic -WiLD.

Tabla 3: Descripción de las variables usadas en la simulación[15]t.

N°	Parámetro	Descripción
1	--mcs:	Esquema de modulación y codificación utilizado.
2	-- pSize:	Tamaño de paquete fijo utilizado para la simulación en *bytes*. Este valor se corresponde con el tamaño de APP nivel.
3	--MaxDist:	Máxima distancia en metros a ensayar.
4	--stepDist:	El salto de distancia en metros a configurar. Este conjunto de parámetros el aumento de la distancia añadió en cada simulación. Por ejemplo, si "maxdist = 20000" y "stepDist = 5000", 5 simulaciones se llevarán a cabo a los 5, 5005, 10005, 15005 y 20005 metros
5	--aggTh:	Umbral de agregación utilizado. Esto configurará el nivel de agregación presente en el enlace WiLD.
6	--ackOpt:	Ajuste de tiempo de espera ACK para un comportamiento normal. Si es verdad, esta opción ajustará la ACKTimeout de manera óptima para obtener el máximo rendimiento en cada distancia. Si es falso, se utilizará el valor ACKTimeout definido en la norma, con la correspondiente disminución del rendimiento de partida de una distancia específica (generalmente 27 km).
7	--pcap:	Este script simula un enlace Wi-Fi de larga distancia (WiLD) de una manera sencilla. Ha sido desarrollado para obtener valores de rendimiento, latencia, jitter y pérdidas cuando el enlace está trabajando en el punto de saturación para diferentes distancias con una configuración de enlace específico (MCS, tamaño del paquete, el umbral de agregación y acuse de recibo de ajuste de tiempo de espera) Genera un archivo de traza Pcap. Si es "true".

En esta simulación, se dan los resultados de rendimiento, latencia, jitter y pérdidas en el punto de saturación para las diferentes distancias consideradas en este documento (3, 5, 10 y 20 km) sin intervalos, puesto que en estos experimentos, no se consideraron repetidores. El MCS se puede utilizar de 0 a 15, pero se realizaron simulaciones hasta el índice MCS 7, no se realiza la agregación, su valor es 0 y el tamaño del paquete a nivel de APP es de 2048 bytes.

Es importante indicar que el parche para largas distancias de ns-3, simula solo con el canal de 20 MHz.

3. Resultados y Discusión

En esta sección se plasman las expresiones dadas en los apartados anteriores para verificar el rendimiento en la tecnología WiFi 802.11n, utilizando TDMA como método de censado al medio. Como se mencionó se evaluó el (throughput, latency, jitter y losses); datos recibidos en los diferentes escenarios. Para la tecnología estudiada IEEE 802.11n, utilizamos la configuración PHY que proporciona los rangos más largos; es decir, se seleccionó los MCS presentados en la Tabla 1 hasta el índice 7.

En otras palabras se presenta una comparación entre los sistemas de modulación y codificación del estándar IEEE 802.11n en términos de rendimiento y rangos de transmisión. El escenario de evaluación consiste en un solo enlace de radio compuesto por dos estaciones (un transmisor y un receptor) que intercambian tramas de datos con un tamaño de carga útil de 2048 bytes, mediante el protocolo UDP. El MCS más robusto es considerado para las diferentes especificaciones IEEE 802.11. Específicamente, con respecto a 802.11n, el MCS7 es tomado en cuenta (usando un ancho de banda de canal de 20MHz, 1 secuencia espacial, usando el intervalo de guarda larga en las transmisiones).

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 59-68 ISSN 2550-6730

Desde el terminal de Ubuntu se ejecuta un comando, que contiene los parámetros mínimos para realizar la simulación (Figura 3), este a su vez activa las instrucciones restantes que contiene el script de la simulación, mismo que el compilador de c++ ejecuta inmediatamente y las procesa; luego el proyecta datos en el mismo terminal de Ubuntu. La Figura 4, muestra los datos recibidos luego de la ejecución de la línea de comando.

La imagen presentada en la Figura 4 corresponde al compilador de ns-3, el cual muestra los resultados en el terminal de Ubuntu; los paquetes analizados corresponden a los enviados a través del protocolo de transporte UDP, 65000 es la inyección de data rate, el tiempo de duración de la simulación del enlace es 15 segundos, con un ancho de banda del canal de 20 MHz, datos como el MCS, y la distancia varían de acuerdo al experimento.

```
root@victor: /home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22
Waf: Entering directory `/home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22/build'
Waf: Leaving directory `/home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22/build'
'build' finished successfully (7.113s)

*************************************************************
Bandwidth -> 20MHz
MCS -> 7
Aggregation -> 0
PacketSize -> 2048
MaxDistance -> 3060
StepDistance -> 3060
*************************************************************

Simulating with: ------------------------------------------------------
SlotTime -> 27
Aggregation -> 0
PacketSize -> 2048
Distance -> 3060
MaxDistance -> 3060
Injected datarate -> 65000

Checking MAC Parameters:
SlotTime: +27000.0ns
AckTimeout: +102000.0ns
SIFS: +10000.0ns
RIFS: +2000.0ns
EIFS +314000.0ns
AIFSN 2
PIFS +37000.0ns

Flow 0 (10.1.1.2 -> 10.1.1.1)
Tiempo 15.5143 bps
Tiempo2 15
Throughput APP: 13272132 bps
Throughput MAC: 13383572 bps
Flow 1 (10.1.1.1 -> 10.1.1.2)
Tiempo 15.518 bps
Tiempo2 15
Throughput APP: 13018726 bps
Throughput MAC/IP: 13124865 bps
*****************************************************************
Latency: 502088 us
Jitter: 841 us
Losses: 13755 packets
Total Throughput Mac: 26508437 bps
Total Throughput App: 26290858 bps
Done...
*****************************************************************
```

Figura 4: Valores obtenidos por el compilador de ns3 en la simulación.

Throughput de la simulación.
Se llama throughput a la cantidad de datos que son transmitidos hacia o desde algún punto del enlace de la red, en este caso WiFi mediante el estándar 802.11n de largo alcance, o también al volumen de información que fluye en las redes de datos, en los cuales el rendimiento es medido en unidades como accesos en tiempo. Con este parámetro se puede ver el rendimiento de una conexión.

Se analiza el rendimiento con un tamaño de paquete de 2048 bytes y con la variación de la MSC (Variable

de Esquema de Modulación y Codificación) desde el índice 0 hasta el 7, y la distancia. La Figura 5 muestra el comportamiento del rendimiento del enlace en las diferentes pruebas, alterando el valor de MCS y la distancia.

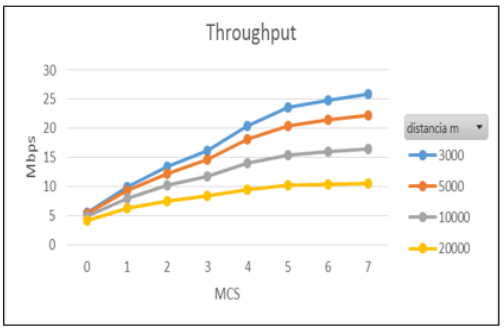

Figura 5: Throughput en (Mbps) obtenidos en la simulación.

El mejor escenario cuando se simuló fue, con el índice MCS 7, en la cual se obtuvo un rendimiento de 26.5 Mbps, transmitiendo un paquete de tamaño de 2048 bytes en un tiempo estimado de 15 segundos; todo ello en una distancia de 3 Km. Cuando se incrementa la distancia el throughput del enlace disminuye.

Latencia en la simulación. La latencia es el tiempo que un paquete necesita para ser transmitido desde el nodo emisor al nodo receptor. De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 6 se aprecia que se incrementa el retardo en la entrega de paquetes, cuando aumenta la distancia del enlace y el índice de modulación y codificación es MCS 0.

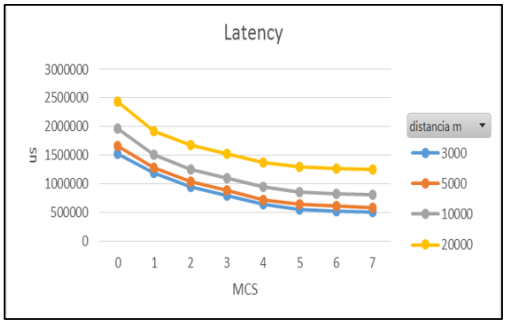

Figura 6: Valor de latency en microsegundos (us), obtenidos en la simulación.

Jitter en la simulación. Jitter es la variación del retardo que tiene un paquete con respecto a otro, desde que se envía del nodo origen al nodo destino. Los valores que se obtuvieron en la simulación están dentro de los parámetros aceptables, todo ello en microsegundos (us). La Figura 7 modela los valores del jitter de acuerdo a cada una de las distancias y MCS simuladas. Como se demuestra entre mayor es la distancia el jitter incrementa, pero esta depende del valor del sistema de modulación y codificación que asignemos, cuando utilizamos MCS 7 se reduce notablemente el jitter.

Pérdidas en la simulación (Losses). Los paquetes perdidos que se presentan en la simulación del enlace se muestran en la Figura 8, como se ha manifestado en la lectura del jitter, latency estos valores incrementan en la medida que aumenta la distancia.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 3, No. 1, (Enero 2019), 59-68 ISSN 2550-6730

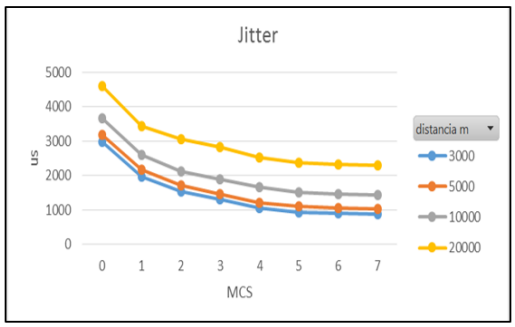

Figura 7: Valores de Jitter (us), obtenidos en la simulación.

Figura 8: Pérdidas del enlace, en la simulación.

4. Conclusiones

En este artículo se demuestra cómo los enlaces Wi-Fi de larga distancia pueden ser desplegados utilizando tecnologías de bajo costo. Dichos enlaces con tecnología WiFi son una alternativa práctica y económica para proporcionar conectividad a internet en países que se encuentran en vía de desarrollo. Aún se están realizando investigaciones para reducir la complejidad de las comunicaciones y determinar la configuración óptima para maximizar el rendimiento y la estabilidad de los enlaces durante largos períodos de tiempo. Las distancias largas se simulan a menudo en un laboratorio típico introduciendo obstáculos artificiales o ruido. Ns3 es una herramienta potente para realizar simulaciones de redes inalámbricas de largo alcance, útil para generar datos, previa la implementación de proyectos con estas características. TDMA es una tecnología impulsada por marcas privativas, han realizado varias mejoras con respecto al estándar IEEE 802.11 exclusivamente con en el método oficial de acceso al medio CSMA/CA, demostrando que pueden trabajar armónicamente con el estándar IEEE 802.11n. El rendimiento del enlace mediante la simulación en ns-3, varía de acuerdo a la distancia y al valor del método de modulación y codificación (MCS) empleado, en muchos se acerca a la estimación de la capacidad de transmisión de los valores nominales presentados por el estándar IEEE 802.11n. Las simulaciones se realizaron con un canal de 20 MHz, en un canal de 40 MHz y MIMO mejorará notablemente el throughput del enlace, lógicamente, teniendo en consideración la distancia del enlace; en la práctica es posible este comportamiento, ya que equipos de comunicaciones inalámbricos propietarios como Ubuiquiti, MiKrotik, otros; ofrecen notables rendimiento con la inclusión del protocolo de censado al medio TDMA.

Referencias

[1] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *IEEE Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between systemsLocal and metropolitan area networks–Specific requirements–Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications–Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz. - IEEE Standard.*

[2] CONATEL. *Plan Nacional de Frecuencias de Ecuador.* 2012.

[3] CONATEL. *Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación de banda ancha.* 2012.

[4] Stylianos Kasampalis y col. "Comparison of Longley-Rice, ITM and ITWOM propagation models for DTV and FM broadcasting". En: *2013 16th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*. IEEE, 2013, págs. 1-6.

[5] Patricia Ludeña y col. "Performance Evaluation of Long-Distance 802.11n Networks". en. En: *New Contributions in Information Systems and Technologies*. Ed. por Alvaro Rocha y col. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer International Publishing, 2015, págs. 1033-1043. ISBN: 978-3-319-16486-1.

[6] Rob Flickenger y col. "Very Long Distance Wi-fi Networks". En: *Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Networked Systems for Developing Regions*. NSDR '08. event-place: Seattle, WA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2008, págs. 1-6. ISBN: 978-1-60558-180-4. DOI: 10.1145/1397705.1397707.

[7] Dheeraj Sanghi y Bhaskaran Raman. "Digital Gangetic Plains(DGP): 802.11-based Low-Cost Networking for Rural Areas 2001-2004: A Report". en. En: (), pág. 35.

[8] S. Surana y col. "Deploying a Rural Wireless Telemedicine System: Experiences in Sustainability". En: *Computer* 41.6 (jun. de 2008), págs. 48-56. ISSN: 0018-9162. DOI: 10.1109/MC.2008.184.

[9] Michael Neufeld y col. "SoftMAC – Flexible Wireless Research Platform". en. En: (), pág. 6.

[10] Ashutosh Dhekne. "Implementation and Evaluation of a TDMA MAC for WiFi-based Rural Mesh Networks". En: 2009.

[11] Ashish Sharma y Elizabeth M. Belding. "FreeMAC: framework for multi-channel mac development on 802.11 hardware". en. En: *Proceedings of the ACM workshop on Programmable routers for extensible services of tomorrow - PRESTO '08*. Seattle, WA, USA: ACM Press, 2008, pág. 69. ISBN: 978-1-60558-181-1. DOI: 10.1145/1397718.1397734.

[12] Ananth Rao y Ion Stoica. "An Overlay MAC Layer for 802.11 Networks". En: *Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*. MobiSys '05. event-place: Seattle, Washington. New York, NY, USA: ACM, 2005, págs. 135-148. ISBN: 978-1-931971-31-7. DOI: 10.1145/1067170.1067185.

[13] Eddie Kohler y col. "The Click Modular Router". En: *ACM Trans. Comput. Syst.* 18.3 (ago. de 2000), págs. 263-297. ISSN: 0734-2071. DOI: 10.1145/354871.354874.

[14] Andrés Martínez Fernández y col. "The TUCAN3G project: wireless technologies for isolated rural communities in developing countries based on 3G small-cell deployments". eng. En: *IEEE communications magazine* 54.7 (jul. de 2016), págs. 36-43. ISSN: 0163-6804. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7509376.

[15] Esteban. *This is a suite for simulate long distance WiFi and WiMAX links with the simulator ns-3: emunicio/long-distance-tucan3g.* original-date: 2015-04-10T16:58:23Z. Feb. de 2018.